

Tartu Ülikool
Loodus- ja Täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja Maateaduste instituut
Geograafia osakond

Magistritöö loodusgeograafias ja maastikuökoloogias (30 EAP)

**Kuidas kajastuvad kuuma- ja külmalained Tartu linna
õhutemperatuurides aastatel: 2003-2016?**

Rauno Aljas

Juhendaja: PhD Mait Sepp

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

/allkiri, kuupäev/

Tartu 2017

Lühikokkuvõte

Kuidas kajastuvad kuuma- ja külmalained Tartu linna õhutemperatuurides aastatel: 2003-2016?

Magistritöö eesmärk on välja selgitada, kus asuvad Tartus ja Tartu lähipiirkonnas õhutemperatuuri salvestavad mõõtmispunktid. Mõõtepunktide õhutemperatuuride põhjal leida, milline mõju on ajavahemikus 2003-2016 aastatel kuuma- ja külmalainetel erinevatele Tartu ja Tartu lähipiirkonna õhutemperatuuridele. Kuumajuhtumite analüüsist tuleb välja, et Tartu linnaala soojeneb kuumalaine puhul rohkem kui linnaväline ala. Lisaks on linnala hommikul ja õhtul tunduvalt soojem kui linnaväline ala ning õhtune õhutemperatuuri langemine on linnaalal aeglasem võrreldes linnavälisega. Külmajuhtumite tulemused olid suuresti sarnased, erinevus seisnes linnala ööpäevases kõrgemas õhutemperatuuris võrreldes linnavälise alaga. Lisaks reageerisid linnavälised alad õhutemperatuuri muutustele kiiremini. Õhutemperatuuride analüüs näitas, et Tartu on kõrgema õhutemperatuuriga, kui linnaväline ala ja seal esineb soojasaar.

Märksõnad: kuumalaine, soojasaar, külmasaar, linn, õhutemperatuur, Tartu, Tartumaa,

P510 - füüsiline geograafia, klimatoloogia

How do heat and cold waves affect the air temperatures of the city of Tartu between 2003-2016?

The aim of the paper is to find out the locations of permanent air temperature measuring stations in the city of Tartu and Tartu county. From the air temperature data I calculated heat and cold wave affects, from 2003 to 2016, on different parts in the city of Tartu. For the first results, there are four city and five rural air temperature measuring stations that collect data in this area. From the data analysis results, the area in the city of Tartu has higher air temperatures than the rural area outside of it. In the mornings and evenings the city area has higher air temperatures and in the evenings it decreases slower than in the rural areas. The results for the cold wave are similar, and the main differences are that the city area had higher air temperatures throughout all the day. Rural area stations react to temperature changes quicker. The results showed that the city of Tartu has higher air temperatures than rural areas and urban heat islands affect the city.

Keywords: Heat wave, heat island, cold island, city, air temperature, Tartu, Tartu county,

P510 - physical geography, climatology

Sisukord

Lühikokkuvõte	1
Sissejuhatus.....	3
1. Miks on linnakliimat oluline uurida?.....	5
1.1. Varasemad uuringud Eestis	10
2. Andmed ja metoodika	12
3. Tulemused.....	18
3.1. Kuuma juhtumid.....	18
3.1.1. 3.-4. august 2010.....	18
3.1.2. 28.-29. juuli 2012.....	21
3.1.3. 19.-20. mai 2014	24
3.1.4. 331 kuumapäevade keskmine	27
3.2. Külma juhtumid.....	29
3.2.1. 28.-29. november 2010	29
3.2.2. 4.-5. veebruar 2012	32
3.2.3. 29.-30. jaanuar 2014	35
3.2.4. 220 külmapäevade keskmine	38
4. Arutelu	40
Kokkuvõte.....	42
Kasutatud kirjandus	44
Summary	48
Tänuavaldused	50

Sissejuhatus

Maailma rahvastikust rohkem kui pool elab linnades, kus nad on ümbritsetud antropogeenselt loodud keskkonnaga (Douglas 2011). Selline linnaalade iseloodud keskkond tekitab muutusi mikrokliimas, mõjutades seal hulgas õhutemperatuuri (McIntyre 2011). Suurenevad linnaalad on osaks kliimamuutuste põhjustajatest, panustades muutustele kaasa ja olles ka ise mõjutatud kliima ümberkujunemise tagajärgedest (Cortekar jt. 2016). Ekstreemsed temperatuurid on üha suuremaks probleemiks terves maailmas. Madalmaades on ennustatud, et aastaks 2050 kahekordistub kuumapäevade arv, millede õhutemperatuur ületab 25°C ja kolmekordistub päevade arv, millede õhutemperatuur ületab 30°C (Van der Hoeven jt. 2015). Eesti näitel on Mait Sepp teinud normkliima andmete 1971-2000 baasil arvutused kuumalainete esinemissageduse kohta 21. sajandil. Tulemuseks saadi, et sajandi keskpaigaks saanevad kuumapäevad rohkem, kui kaks korda. Lisaks võib 21. sajandi lõpuks olla aastas päevi, kus temperatuur ööpäevas tõuseb üle +27 °C, kuni üks kuu ja võttes arvesse standardhälbe, võib mõnel aastal esineda kuumapäevi summaarselt üle kahe kuu (KATI 2015).

Linna soojasaare efekt (UHI) on maailmas üks uuritumaid kliimaatilisi fenomene. Esimest korda kirjeldati soojasaart, kui nähtust, 1818. aastal Luke Howard poolt, kes kirjeldas Londoni linnaala kõrgemaid temperatuure võrrelduna ümbruskonnas paikneva maapiirkondadega (Gartland 2008; Howard 1833). UHI efekt on süvenenud linnaalade arenguga (Oke 2011). Soojasaarte uurimine on tähtis selle tõttu, et nii maailmas (WUP 2014), kui ka Eestis (Servinski jt. 2013) suurem osa rahvastikust asub linnakeskkonnas ja kuna temperatuurid UHI puhul on ekstreemsemad, siis ohustab see inimeste tervislikku seisundit (Van der Hoeven jt. 2015). UHI negatiivne mõju inimestele väljendub erinevatel viisidel. Sellega ei kaasne lihtsalt natuke ebamugavusi, vaid soojasaare efekt toob endaga kaasa endaga üleüldise kõrgendatud õhutemperatuuri, suureneb õhusaastatus, mis omakorda tingib haigestumise ja suremuse kasvu. UHI põhjustab ka energia tarbimise suurenemist, sest hoonete jahutussüsteemid kulutavad suurtes kogustes elektrienergiat, et tagada mugavat ja elamisväärsel elukeskkonda (Gartland 2008).

Eestis on mikroklimatoloogiat ajaloost tulenevalt uuritud rohkem põllumajandusliku poole pealt (Karing 2013). Kuumalainete ja soojasaarte mõju linna mikrokliimale on uuritud vähesel määral ning peamiselt Tallinna kohta, Eesti kohta tehtud uuringuid on käsitletud

peatükis 1.1. Samas on Eesti kliima suhteliselt kiiresti soojenenud ja UHI on muutumas probleemiks ka meie asulates. Näitena saab tuua Türi ilmajaama andmed ajavahemikust 1951–2010, nende õhutemperatuuride andmete põhjal on meie suved 60 aastaga soojenenud 1,5 kraadi võrra (Sepp jt. 2015). Ka on kuumalaine ajal satelliidipiltidel soojasaartena nähtavad praktiliselt kõik linnad ja tihedama asustusega alad (Sepp jt. 2015). Seega on antud teema ka Eesti jaoks oluline ning vajab põhjalikke teadmisi ja uurimusi olemasolevate andmete ning kümnendite jooksul toimunud muutuste kohta.

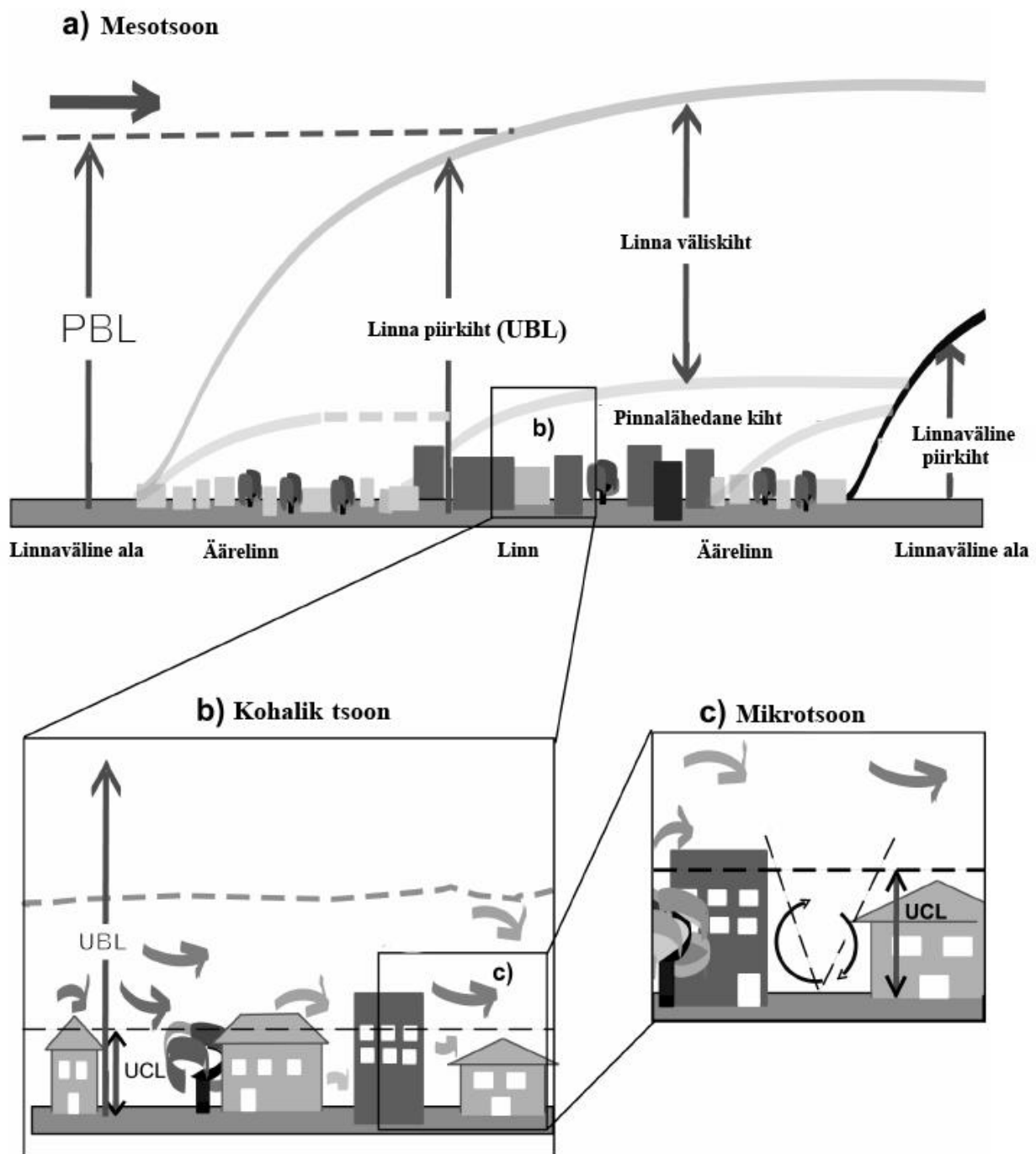
Käesoleva töö eesmärk on välja selgitada, kus asuvad Tartus ja Tartu lähipiirkonnas õhutemperatuuri salvestavad mõõtmispunktid. Leitud mõõtepunktide õhutemperatuuride põhjal leida, milline mõju on ajavahemikus 2003-2016 aastatel kuuma- ja külmalainetel erinevatele Tartu ja Tartu lähipiirkonna õhutemperatuuridele.

1. Miks on linnakliimat oluline uurida?

Linnaalade temperatuuri erinevus võrreldes seda ümbritseva alaga on üks tuntumaid kliima erisuste tekitajaid. Selle on põhjustanud suuresti teatud ehitusmaterjalide kasutamine, millel on soojust talletav omadus (McIntyre 2011). Linnaalade ja kliimamuutuste vahel on keeruline side ning see on planeerijatele üha suuremaks väljakutseks muutuste leevendamisel, vähendamisel ja nendega kohanemisel (Fallmann jt. 2016). See on põhjuseks, miks paljud linnad üle maailma on määranud endale kliimamuutustega võitlemiseks kindlad eesmärgid, mille poole püüelda. Praeguseks hetkeks on näha, et soovitud tulemused pole alati olnud ootuspärased. Seda näitavad viimaste kümnendite ebapiisavad tulemused kliimamuutustega võitlemisel. Näiteks arvatakse, et inimeste põhjustatud kasvuhoonegaaside vähendamine kliimateadlaste poolt määratud ohutule tasemele pole õnnestunud (Freemann & Yearworth 2017). Märkimisväärsed pingutusi on tehtud viimaste kümnendite jooksul, et luua mitmeid rahvusvahelisi keskkonnaga seotud lepinguid, mis aitaksid ja kontrolliksid globaalset soojenemist ja kliimamuutusi (Masoudi jt. 2017). Peamisteks rahvusvahelisteks kokkulepeteks on Pariisi kliimakokkulepe 2015. aastal ja Kyōto protokoll 1997. aastal, mis mõlemad on loodud peamiselt kasvuhoonegaaside emiteerimise vähendamiseks. Kasvuhoonegaaside emiteerimise vähendamine on hetkel inimkonna peamine eesmärk, sest praegune kasvuhoonegaaside kogus atmosfääris on piisavalt suur, et põhjustada pöördumatuid kliimamuutusi (Atta-ur-Rahman jt. 2016). Kliimamuutustega kaasnevad tagajärjed mõjutavad inimühiskonda eriti just linnades, sest linnaaladel elatakse tihedamalt koos. See teeb tõenäolisemaks võimalikul ekstreemsel ilmastikunähtusel, näiteks kuumalainel mõjutada samal ajal suuremat hulka elanikkonnast.

Linna soojasaar on linnastumise protsessiga kaasnev tagajärg ja on hea näide inimtegevusest tulenevatest mõjudest, mis tuleneb kohaliku maakasutusest ning selle omaduste muutmisest (Zhang & Chen 2013). UHI mõju ulatub atmosfääri protsessidest kohaliku taseme kliima kuni globaalse kliima muutmiseni (Zhang & Chen 2013). UHI mõjub linnaala eri piirkondadele erinevalt ning ala saab jagada suuruselt kolmeks: (Joonis 1) mikro-, kohalik- ja mesotsoon, millest viimane hõlmab enda alla terve linna. Mikrotsoonis on igal pinnal ja objektil oma isiklik ning unikaalne mikrokliima. See tähendab, et pinna ja õhu temperatuur varieerub palju, isegi väikeste distantside puhul nagu näiteks hoonete vastaspooltel (Oke 2011). Mikrotsoonist suurem on kohalik tsoon, mis on sarnase urbanistliku arenguga ala.

Selle tsooni kliima iseloomustab suuremate ja enamasti samatüübiliste alade ilmastut. Tüüpiliseks kohaliku tsooni näiteks on linnapark, sarnase tüübiga majade kogum (Baranka jt. 2016), Tartu näitel Annelinna linnaosa. Mesotsoon koosneb väiksemaskaalalistest üksustest (mikro ja kohalikest tsoonidest), ning iseloomustab sellega suurema ala ilmastikku. See tähendab linna puhul kõrgehitistega kesklinna ja äärelinna piirkonda (Halenka 2016). Linna piirkiht on üks mesotsooni omadustest, see tekitab kupli taolise mulli linna ümber, mis annab linnale isepärase ilma ja sõltuvalt tuule kiirusest mõjutab linnaväliseid alade temperatuure (Oke 2011).



Joonis 1. Skemaatiline diagram, mis näitab linnapiirides (Urban Boundary Layer-UBL) toimuvaid protsesse, liikumisi ja selle skaalasid. Planetaarne piirkiht (Planetary Boundary Layer PBL), Kiht maapinnast majade katusteni (Urban Canopy Layer UCL), (Fisher jt. 2005)

Linnaalal on tendents neelata rohkem päikesekiirgust, kui seda ümbritseval alal. See on tingitud tehispindade madalast albeedost, mille tõttu neeldub päikeselt tulev kiirgus pindadesse, mis salvestub sinna soojusena (Martin jt. 2015). Linnas leiduvatest pindadest on

levinumad asfalt, tänavasillutis ja betoon, millel on vastavalt albeedod 0,08-0,09; 0,25-0,28 ja 0,19-0,29 (Li jt. 2013). Kiirguse neeldumise kaudu soojenevad pinnad ja talletavad seda päeva jooksul, võimendades linna piirkondade maksimaalseid temperatuure päeval. Samas hoides linna soojana öösel ning kasvatades UHI mõjusid.

UHI intensiivsus on erinevus linna ja linnavälise temperatuuri vahel. UHI on kõige väiksema intensiivsusega päikesetõusu ajal, kuid kohe pärast päikese tõusu kasvab selle tugevus märkimisväärselt, jõudes haripunkti peale päikese loojangut. Selle põhjustavad päeva jooksul üles soojenenud linna pinnad eritades soojust- ehk pikalainelist kiirgust veel tunde pärast päikese loojangut. Maapinna temperatuur on linnas päikese tõusust loojanguni kõrgem. Päikese loojangust tõusuni on õhukihi temperatuur maapinnast majade katusteni ehk UCL (Urban Canopy Layer; joonis 1) kõrgeim (Van der Hoeven jt. 2015). UHI puhul on ka iseloomulikuks jooneks piirkihi omadus olla soojem, (joonisel 1. kujutatud kui UBL *urban boundary layer*). Piirkiht loob linna kohale soojast õhust koosneva kupli, mis ei lase külmal õhul antud piirkonnale peale tungida (Gartland 2008). Hiinas Suzhou ja Wuxi linnas teostatud uuringu põhjal jõudis soojasaare intensiivsus, maksimaalsesse punkti kella kaheks öösel kohaliku aja järgi. Intensiivsus langes tugevalt pärast kella kuute hommikul, kuni jõudis nulli lähedale päikese tõusu ajaks. Uuringu ala iseärasuseks on Tai järve mõjud soojasaare efekti intensiivsusele, mille jahutavad tuuled mõjusid päevasel ajal linna õhutemperatuuridele stabiliseerivalt. Öösel polnud järve mõju nii tugev, sest linnaala oli ümbritsetud jahedama õhuga. Linnaalale tekkis soojem kuppel ning selle tõttu oli UHI uuringu alal intensiivsem (Zhang & Chen 2013).

Madalmaades, Amsterdami linnas teostati uuring 2006. aasta juulis toimunud kuumalainega kaasnenud UHI intensiivsusest ja selle mõjust inimestele. Uuringus kasutati vastavalt töödeldud Landsat 5 pilte, et hinnata pinna temperatuure ning AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer) pilte, et saada õhutemperatuuride kohta hinnang. Uuringu tulemustes kajastus, et kuumalaine puhul kannatab Amsterdam tugevalt UHI mõjude all. Päevane pinnatemperatuur on vahemikus 10-20 °C suurem kui linnavälisel alal. Päevase UHI puhul mõõdeti 5-6 °C õhutemperatuuri erinevus ning öise puhul 7-9 °C. Maakasutus linnas mõjutab tugevalt pinna- ja õhutemperatuuri, taimkattega alad on jahedamad, kui tihedalt täisehitatud alad (Van der Hoeven jt. 2015).

Suurbritannias tehti uuring Manchesteri linna andmetega aastatel 1996-2011. Uuringus valiti üks linnasisene punkt ja kaks linnavälist punkti, mille andmeid analüüsiti ning nende andmete

põhjal tehti statistiline mudel. Tulemustena toodi välja, et Manchesteri linnas esineb UHI mille maksimaalne intensiivsus on 6 °C. Uuringus tuli välja ka linnaala arenduse märgatav mõju UHI intensiivsusele. Mida vähemaks jäi linnaalal rohealasid, seda intensiivsemaks muutus UHI (Levermore jt. 2015).

Kuna kõrgete temperatuuride esinemise sagedus on kasvanud aasta aastalt, siis on üritatud leida antud probleemile lahendusi. Peamisi leevenduse toojaid on haljastus, kuid haljasalade, parkide ja muu roheluse linna tagasi toomine on keeruline. Üks võimalikke lahendusi on katuste haljastus, millel on jahutav mõju ümbritsevale mikrokliimale (Santamouris 2014). Murukatus on hoone katusel olev haljastuskiht, millel kasvavad taimed on vastupidavad katusel olevatele tingimustele (Köhler & Poll 2010). Murukatustel, kus seda kasutatakse on peale esteetilise väärtuse ka teisi positiivseid toimeid nii kohalikule mikrokliimale kui ka majale (Hallik 2008). Linna tingimustes on murukatuste puhul märgatav mõju sademevee reguleerimisele, õhu kvaliteedi parandamisel ning soojasaare efekti vähendamisel (Teemusk & Mander 2007). Lisaks pakuvad murukatused toitu ja elukeskkonda paljudele elusolenditele (Köhler & Poll 2010). Murukatused töötavad soojasaare efekti vähendajatena, sest nende albeedo on suurem, kui tehispindade albeedo. Seega peegeldavad nad rohkem päikesekiirgust tagasi erinevalt tehispinnast, mis seda enamasti ei tee (Santamouris 2014).

Peale linna soojasaarte võivad tekkida ka külmasaared. Külmasaared on madalama õhutemperatuuriga alad võrreldes seda ümbritseva alaga. Näiteks kuumalaine ajal on pargialadel õhutemperatuur mitmeid kraade madalam võrreldes ümbritseva alaga. Külmasaared võivad tekkida nii taimkatte toimest jahutada õhku enda ümber (Buyadi jt. 2013), kui samas ka talvisel ajal linnas madalate õhutemperatuuriga piirkondades (Suomi & Käyhkö 2012). Kuumalaine puhul on rohealadest suurem kasu siis, kui tuule kiirus on väike ning jahutust linna külmasaare näol rohkem vaja, sest UHI mõju suureneb tuulevaikuse korral (Doick 2014).

Kui uurida külmasaare efekti miinuskraadide puhul, siis kuigi linna õhutemperatuur on talvel kõrgem kui väljaspool linna, siis samal perioodil mõõdetud maapinna temperatuur on linnaalal madalam (Eligh 2016). Kui kõrgete õhutemperatuuride korral talletavad linna pinnad soojust, siis madalate õhutemperatuuride puhul jahtuvad tehispinnad intensiivsemalt, muutes ka enda kohal olevat õhukihti jahedamaks (Hjort jt. 2016). See võib talvisel negatiivse õhutemperatuuriga perioodil tekitada linnaalale punkte, mis on madalama õhutemperatuuriga võrreldes linnavälise alaga.

1.1. Varasemad uuringud Eestis

Kuigi maailmas on olnud suur rõhk UHI uurimisele, siis Eestis pole antud teemat väga laialdaselt käsitletud. See võib tuleneda pikemaajaliste ja usaldusväärsete andmete puudumisest, kui ka UHI kui kliimaatilise probleemi uudsusest (KATI 2015). Eesti mastaabis on uuritud kuumalaineid ja nende mõjusid linnadele rohkem Tallinna suhtes. See on kindlasti loogiline, sest suur osa Eesti rahvastikust elab ja käib tööl pealinnas ning see teeb kliimamõjude uuringud Tallinna kohta oluliseks. Varasematest linnaklimatoloogilisi aspekte analüüsivatest töödest saab nimetada 80-ndail avaldatud raamatut Tallinna (Prilipko 1982) ja Pärnu (Prilipko 1986) ilmastiku kohta.

Linnakliimat on põhjalikumalt uuritud Andres Tarandi erinevates töödes. Näiteks „Õhutemperatuuri ja sademete territoriaalne jaotus Tallinnas“ 1986. aastast lahkab talviseid ja suviseid õhutemperatuure Tallinnas. Talviste õhutemperatuuride puhul tuuakse välja, et vanalinnas on kõrgemad kraadid, kui väljaspool linna asuvates meteoroloogia jaamades. Lisaks talvine soojasaare keskmine temperatuur on 1,6-2,1 °C kõrgem kui Ülemistel ning suvine soojasaare keskmine 1,0 °C. Töös tuuakse välja, et Tallinna puhul mängib olulist rolli meri, mis on tugeva jahutava efektiga (Tarand 1986). Uuematest töödest on „Eesti kliima minevikus ja tänapäeval“ lahatud ka Tartus tehtud erinevaid temperatuuride mõõtmisi. Peamiselt on võrreldud 19. sajandil kogutud andmete täpsust ja tulemusi (Tarand jt. 2013).

Kuumalainete ja soojasaarte kohta on räägitud Roose (2015) töös „Kliimamuutustega kohanemine Eestis- valmis vääramatuks jõuks?“ Uuritud on 2014. aasta 25. juuli kuumalaine mõju Tallinna ja Harjumaa piirkonnale. Kasutatud on satelliitpilte, et välja selgitada piirkonnad soojasaarte ja nende intensiivsuse kohta. Uuringu tulemustes kajastati kuumade mõju inimtervisele ning toodi välja, millised Tallinna piirkonnad on kõige haavatavamad soojasaare mõjude suhtes. Üldiste tulemustena leiti, et kuigi Tallinn on roheline linn, on kuumasaar suureks ja aina kasvavaks probleemiks (Sagris jt. 2015).

Mari Kääri (2015) bakalaureuse töös koguti nii püsिमõõtmisandmeid Tallinnas, kui ka viidi läbi marsruutmõõtmisi. Linnaala ja linnavälise ala võrdlus toimus Ilmateenistuse Tallinna-Harku aeroloogiajaamas mõõdetud õhutemperatuuri andmetega. Tulemustena saadi keskmiseks soojasaare väärtuseks 0,2 °C. Suuremad temperatuuri erinevused esinesid

temperatuuridel alla 0 °C. Lisaks mõjutasid soojasaare intensiivsust tuulekiirus ja pilvisus, ehk mida väiksem tuulekiirus ja selgem ilm seda intensiivsem on soojasaare efekt. Marsuut mõõtmiste puhul saadi keskmiseks soojasaare väärtuseks 0,9 °C . Suurimad soojasaare väärtused esinesid tiheda liikluse ja kõrghoonestusega aladel ning meere äärse punkti soojasaare väärtused olid kõik positiivsed. Soojasaare väärtused talvel olid suuremad külmemate, selgemate ja tuulevaiksemate ilmadega (Käär 2015).

2. Andmed ja metoodika

Töö esimeseks faasiks oli õhutemperatuuri mõõtepunktide väljaselgitamine Tartus ja selle lähiümbruses. Kasutatud on kokku kümne erineva mõõtmispunkti andmeid ning pikimad aegread on 13 aastat pikad. Andmete reeperiks sai Tõravere jaam, mis muutus 01.09.2003. aastal automaatjaamaks. Andmete kogumise lõppdaatumiks sai 16.11.2016, sellest hetkest hakkasin andmeid töötlema ning analüüsima. Lisaks toetavad Tõravere jaama Ülenurme ilmajaama andmed ja Kärevere, Melliste ning Tatra Maanteeameti ilmajaamade andmed (Joonis 2). Jaamadest kõige stabiilsema andmete jäädvustamisega on Tõravere, Ülenurme ja Kvissentali jaam, nende jaamade puhul ei esine ühtegi lünka (Tabel 1). Ülejäänud jaamade andmetes esineb vähemal või rohkemal määral lünki. Kvissentali ja seirejaama puhul vähem ja füüsikahoone ning Maanteeameti jaamade puhul rohkem. Kõigi jaamade andmed lähtestasin samale ajatsoonile, milleks sai GMT, et tagada andmete korrektne võrdlus.

Tõravere ilmajaam asub Tartumaal Nõo vallas (Joonis 2). Jaama andmeid vahendas Keskkonnaministeerium ning andmed sain MS Exceli failina kohe õiges vormingus. Töös kasutatavad andmed on ajaliselt alates 01.09.2003.

Kvissentali mõõtepost asub Tartus Kaarsilla ja Võidusilla vahel, Emajõe raekojapoolisel kaldal (Joonis 3). Jaama andmeid vahendas Keskkonnaministeerium ning andmed sain MS Exceli failina. Jaama andmete võrdluseks teiste jaamadega pidin andmed viima samasse vormindusse nagu teised jaamad. Töös kasutatavad andmed on ajaliselt alates 01.01.2011, sest sellest hetkest hakati salvestama antud mõõteposti andmeid.

Tartu õhuseirejaam asub Tartus Kalevi, Lina, Aleksandri ja Jõe tänava vahel (Joonis 3). Jaama andmeid vahendas Eesti Keskkonnauuringute Keskus ning andmed sain MS Exceli failina. Töös kasutatavad andmed on ajaliselt alates 12.06.2008, sest sellest hetkest hakati salvestama antud mõõteposti andmeid.

Füüsikahoone ilmajaam asus kuni 2014. aasta 7. juulini Tartus Tähe 4 aadressil paiknenud Füüsikahoone katusel (Joonis 3). Ilmajaam avati uuesti sama aasta 5. septembril uue Füüsikahoone katusel, mis asub Tartus W. Ostwaldi 1 (Joonis 3). Jaama andmed on digitaalsel kujul ning avalikult kättesaadavad <http://meteo.physic.ut.ee/> lehel. Andmed sain algselt teksti faili kopeerida ning pärast seda importida MS Excelisse. Seejärel pidin andmed ära sorteerima, sest andmeid salvestatakse iga 5 minuti järel. Pärast kõigi andmete sisestamist

oli üle miljoni õhutemperatuuri kirjet. Kuna füüsikahoone andmetes esines auke, pidin kõik andmed üle vaatama, et hilisemas jaamade võrdluses oleks samad ajavahemikud. Töös kasutatavad andmed on ajaliselt alates 01.09.2003. Ajaliselt on andmeid 01.11.1999. aastast, kuid selle töö jaoks võtsin andmete alguse Tõravere järgi.

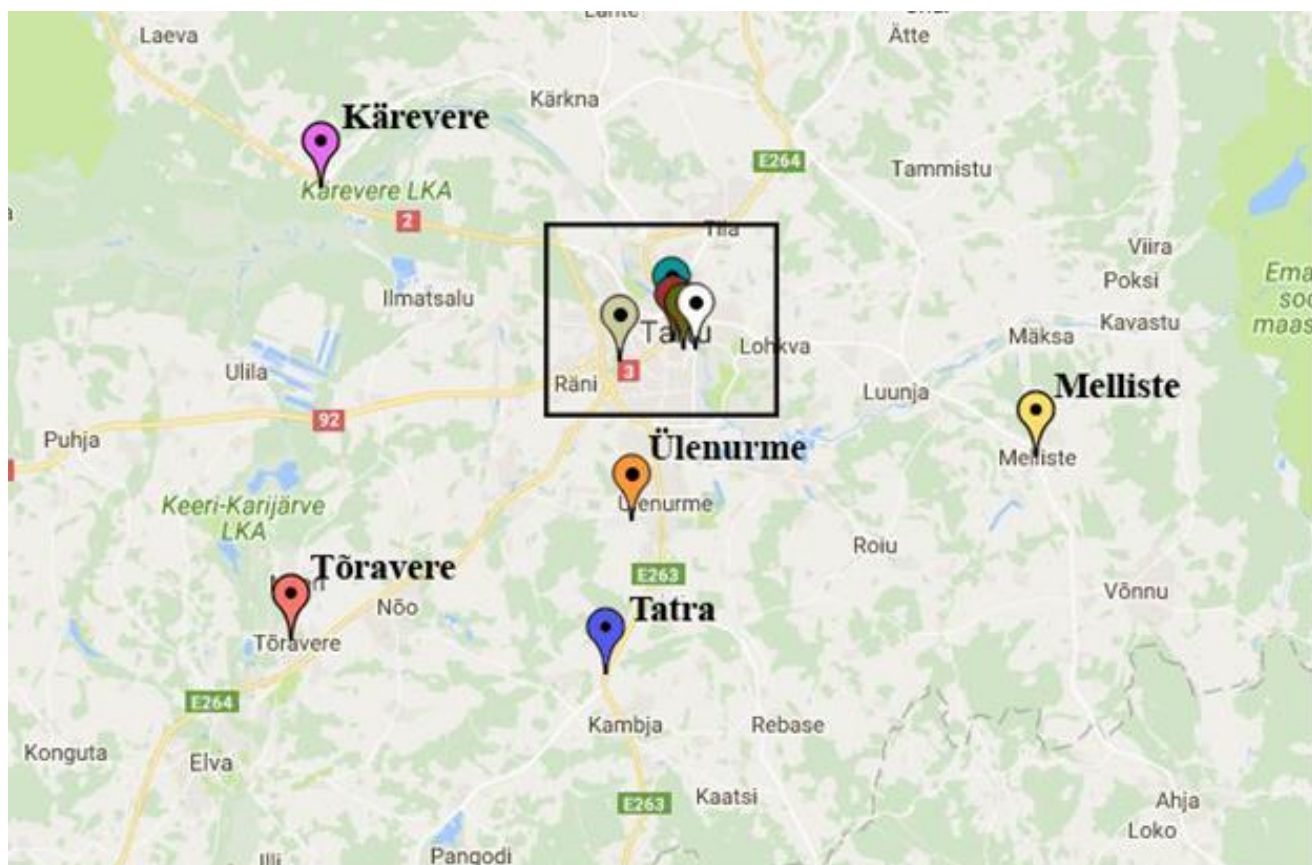
Ülenurme lennujaama ilmajaam asub Tartumaal Ülenurme vallas Lennu tänav 44 lennujaama hoones (Joonis 2). Jaama andmed on paberkandjal ning õhutemperatuuri andmed sisestasin ise MS Exceli tabel vormi. Andmed on kolmetunnise sammuga ning andmetes katkestusi ei ole. Töös kasutatavad andmed on ajaliselt alates 01.09.2003. Kuigi andmeid on kokku aastakümneid, siis andmete alguspunkt sai Tõravere järgi.

Maanteeameti Tartu liikluskaamera asub Sõpruse sillal, Kärevere (Tartumaal Laeva vallas Kärevere külas), Melliste (Tartumaal Mäksa vallas Melliste külas) ja Tatra jaama (Tartumaal Kambja vallas Tatra külas Joonis 2). Andmeid vahendas Maanteeameti hooldeosakonna peaspetsialist Tõnu Asandi, kelleni jõudis infopäring ning saadud andmed sain kopeerida tekstifaili ning seejärel tõsta MS Excelisse. Võrreldes teiste jaamadega on need andmed kõige lünklikumad ja lüngad pidin käsitsi MS Excelist leidma, et hiljem oleks andmeid kõigi jaamadega võimalik võrrelda (Tabel 1). Töös kasutatavate mõõtepostide andmed hakkavad ajaliselt alates 11.02.2009, sest sellest ajast hakati jaamade andmeid salvestama.

Tabel 1. Mõõtepunktid; nende aegridade pikkused, mis on töös kasutusel; mõõtepunkti mõõtmis tihedus minutites; andmed, mis on puudu mõõtepunktis.

* Mõõtmised fikseeritud ebakorrapäraste ajavahemike järel 30 kuni 60 minuti järel.

Mõõtepunkt	Aegrida pikkus	Mõõtmis tihedus (Minutites)	Puuduvad andmed
Tõravere	01.09.2003-16.11.2016	60	-
Ülenurme	01.09.2003-16.11.2016	180	-
Kärevere	11.02.2009-16.11.2016	30-60*	2.-6.03.2009; 26.03.2009; 29.-30.03.2009; 2.-3.04.2009; 24.-26.04.2010; 09.07.2010; 23.-24.10.2010; 16.-31.03.2011
Melliste	11.02.2009-16.11.2016	30-60*	14-28.02.2009; 1.-8.03.2009; 12.-20.03.2009; 22.-31.03.2009; 1.-8.04.2009; 13.-15.06.2009; 24.-26.04.2010; 18.-19.05.2010; 8.-9.07.2010; 23.-24.10.2010; 6.-8.03.2011; 16.-31.03.2011; 2.-4.08.2013
Tatra	11.02.2009-16.11.2016	30-60*	11.02.2009-30.05.2010 (Andmed kas osaliselt või täielikult puudu); 8.-9.07.2010; 5.-8.03.2011; 16.-31.03.2011; 10.-21.07.2011; 29.-31.07.2012; 1.-13.08.2012; 12.-16.01.2013; 26.10.-30.11.2013; 17.-18.05.2014; 06.-15.07.2014; 9.-13.08.2015; 3.-4.07.2016; 20.-21.08.2016
Kvissental	01.01.2011-16.11.2016	60	-
Seirejaam	12.06.2008-16.11.2016	60	09.-14.07.2008; 28.-30.04.2012; 23.-24.09.2014; 17.-18.01.2015; 24.08-30.09.2015; 26.-30.11.2015
Füüsikahoone	01.09.2003-16.11.2016	5	30.08-01.09.2008; 07.07-05.09.2014; 03-08.10.2014
Sõpruse sild	11.02.2009-16.11.2016	30-60*	25.02.2009; 12.-30.09.2009; 18.-23.11.2009; 24.-25.04.2010; 8.-9.07.2010; 23.10.2010; 1.12.2010; 16.03-20.04.2011; 6.-14.09.2011; 2.-4.08.2013



Joonis 2. Jaamade asukohad Tartumaal



Joonis 3. Jaamade asukohad Tartus

Kuna inimkehale on ohtlik temperatuur alla $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, sest selle juures tekib kergemini külmakahjustusi isegi nõrga tuule puhul (McIntosh jt. 2014), siis külmajuhtumiks nimetan olukorra, kui temperatuur on võrdne või madalam sellest. Peale selle esineb pikemaajalisi külmi, kus nii öösel kui ka päeval on temperatuur alla $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, seda nimetan oma töös külmalaineks.

Kuumajuhtumiks nimetan oma töös temperatuure, mis on võrdsed või suuremad kui $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kui see temperatuur ületatakse mitmete päevade jooksul on tegu kuumalainega. Lisaks selle õhutemperatuuri juures suureneb suurem nõrgema tervise juures olevate inimeste puhul; näiteks: eakad, südamehaiged ja teised terviseprobleemide käes olevad inimesed (Åström jt. 2013). Lisaks põhjustab iga kraad alates $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ inimeste produktiivsuse langust 2% võrra (Seppanen 2004).

Jaamade lõplikuks analüüsiks ja jooniste tegemiseks kasutasin programmi MS Excel. Kokku tuli päevi, millal vähemalt ühes jaamas esines vähemalt ühel mõõtmiskorral temperatuur alla $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 220 (Tabel 2). Päevi millal vähemalt ühes jaamas esines vähemalt ühel mõõtmiskorral temperatuur üle $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 331 (Tabel 2). Külma- ja kuumajuhtumitele leidsin kõigi jaamade

peale keskmise ja standardhälbe. Edasi valisin välja kolm kõige ekstreemsemat külma- ja kuumajuhtumit ja analüüsisin neid detailsemalt.

Kuna andmed on eelnevalt ühtsesse vormingusse ja stiili viidud, siis sai funktsioon leida igale jaamale 24 tunni keskmise tabeli. Külma ja kuuma keskmise tabelite põhjal sain koostada 24 tunni keskmise graafikud (Joonis 10 ja 11).

Tabel 2. Kuuma ja külma päevade arv 2004-2016 ning nende arv kokku

Aasta	Külmapäevi	Kuumapäevi
2004	10	14
2005	19	15
2006	17	26
2007	16	25
2008	2	3
2009	12	18
2010	34	54
2011	22	40
2012	30	14
2013	24	40
2014	18	41
2015	2	17
2016	14	24
Kokku	220	331

3. Tulemused

3.1. Kuuma juhtumid

3.1.1. 3.-4. august 2010

Esimene analüüsitav kuumalaine on perioodil 3.–4. august ja analüüsis on kokku 48 tunni andmed. GMT järgi tõusis päike 3. augustil Tartus 03:07 ja loojus 19:30 ning 4. augustil tõusis 03:09 ja loojus 19:28 (www.astronoomia.ee). Antud perioodil oli päevane õhutemperatuur mõlema päeva jooksul püsivalt üle 25 °C 15 tunni vältel Tõravere jaamas. Kvissentali jaam on antud perioodil arvutustest välja jäänud, sest jaam ei töötanud veel.

Ilmavaatluse andmete järgi on 3. augusti ööpäev Tartumaal enamasti selge ilmaga, pilvi esineb vahelduvalt terve päeva jooksul. Tuul on ööpäeva jooksul vaikne ning õhtuks muutub nõrgaks tuuleks. Kell 08:00 GMT oli õhurõhk 1013,0 hPa ja see oli keskööks langenud 1006,9 hPa-le. Sademeid ei ole kummagi ööpäeva jooksul. 4. augustil esineb pilvi vahelduvalt terve päeva jooksul, keskpäeval kell 12:00 GMT on ilm pilves ja kell 21:00 on äike. Õhurõhk on langev kuni 08:00 GMT-ni olles 1004,2 hPa ning pärast seda on ööpäeva lõpuni tõusev jõudes 1012,9 hPa-ni (www.ilmateenistus.ee).

Jaamades fikseeritud temperatuurid saavutavad esimesel ööpäeva kell 02:00–03:00 GMT oma madalaima taseme (Joonis 4), keskmiselt 16,4 °C. Teistest kõrgem õhutemperatuur oli Sõpruse sillal 17,9 °C ja minimaalne Käreveres 14,9 °C. Alates kl 4 GMT hakkasid kõikides jaamades temperatuur püsivalt tõusma.

Kella kaheksaks hommikul on esimesed jaamade õhutemperatuurid ületanud 25 °C taseme. Kaheksa jaama keskmine õhutemperatuur saavutas maksimumi 27,6 °C 13:00 GMT, kui õhutemperatuuri kasv oli kümne tunni jooksul kokku 11,2 °C. Jaamade õhutemperatuuridest tegi kiireima tõusu Kärevere jaam, kus temperatuur tõusis kaheteist tunni jooksul, kl 2:00 GMT (14,3) kuni 14:00 GMT (28,1 °C), 13,8 kraadi võrra.

Õhtune jahenemine (17:00–22:00 GMT), oli võrreldes eelnevate tundide temperatuuri langusest kiirem. Kui kella 13:00–17:00 GMT langes üheksa jaama keskmine temperatuur 2,5 °C, siis 17:00–22:00 GMT langes temperatuur 4,1 °C. Kõige rohkem langes Kärevere jaam 5,7 °C ning kõige vähem Tõravere jaam 3,2 °C. Linnajaamade temperatuurist langesid

Sõpruse silla jaama ja seirejaama oma sama palju, kui üheksa jaama keskmiselt, erisusena saab välja tuua füüsikahoone jaama, mis langes 3,3 °C.

Temperatuuri langus hakkas pihta kell 13:00 ning jõudis miinimumtasemele 2:00–3:00 GMT (Joonis 4) Kolme linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus 7,8 °C. Viie linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on 8,2 °C.

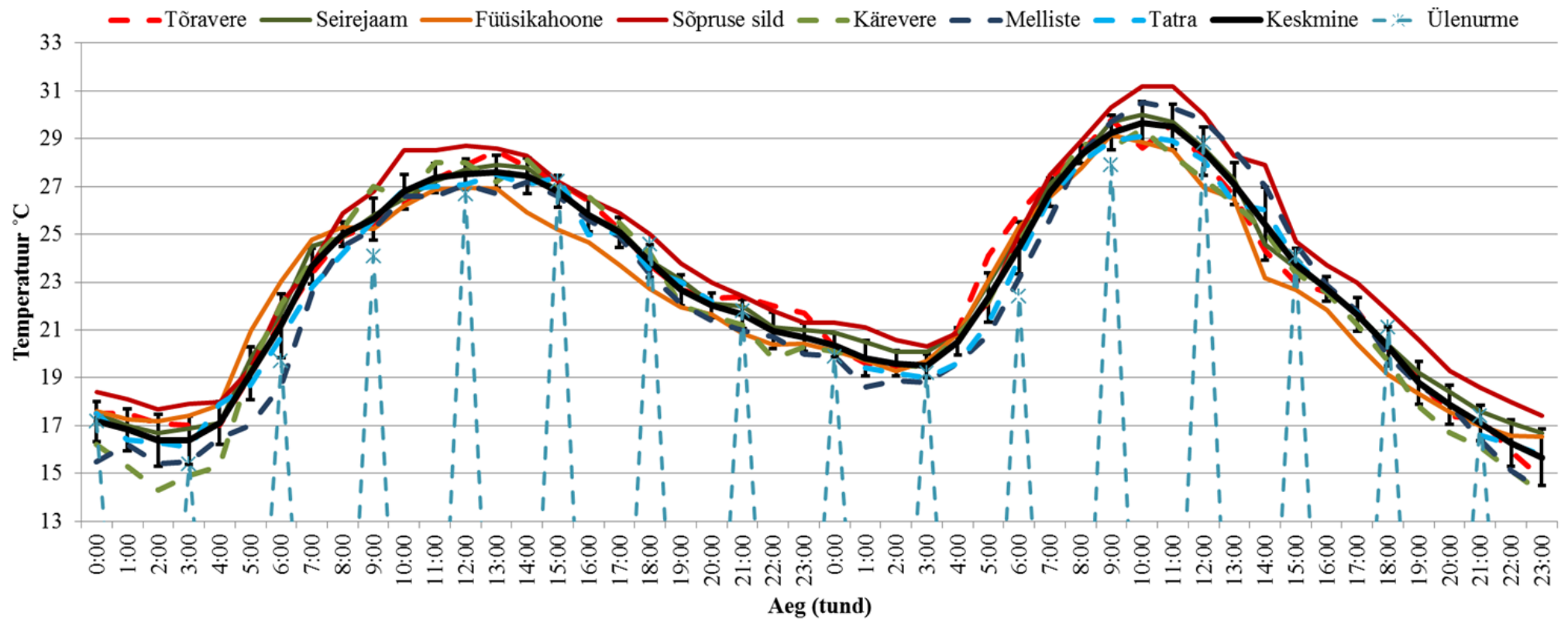
Teise päeva madalaim punkt üheksa jaama keskmise järgi on kell 03:00 GMT 19,5 °C. Sellel kellaajal teistest kõrgem õhutemperatuur oli 20,3 °C Sõpruse silla jaamas ja minimaalne 18,8 °C Melliste jaamas. Kell 06:00 GMT ületasid esimesed jaamad 25 °C piiri ning järgmiseks tunniks olid seda teinud kõik jaamad. Kaheksa jaama keskmine temperatuur saavutas kella 10:00 GMT maksimumi 29,7 °C, tehes 10,2 °C kasvu öö miinimumist. Linna keskel oleva Sõpruse silla ja linnast väljas oleva Tõravere jaama maksimumi vahe on 2,6 kraadi.

Teisel päeval hakkas keskmine temperatuur langema kell 10:00 GMT oma maksimaalsest punktist 29,7 °C ning jõudis kella 23:00 GMT 14 °C langeda ehk 15,7 °C tasemele. Selles vahemikus langevad enamus jaamasid kaheksa jaama standardhälbe piiridesse. Sõpruse silla jaam jääb kella 10:00 GMT kuni juhtumi lõpuni kaheksa jaama standardhälbest üles poole. Sõpruse silla jaam jääb püsivalt soojemaks punktiks linnas ning ei jahtu samale tasemele teiste jaamadega.

Temperatuuri langus toimus ajavahemikus 11:00–23:00 GMT. Kolme linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus 13,1 °C. Viie linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on 14,5 °C.

Võrreldes linnaala jaamasid linnast väljas pool asuvatega saab välja tuua temperatuuri languse erisuse. Esimesel päeval oli linna ja linnast väljas olevate jaamade languse vahe 0,4 °C ning teisel päeval 1,4 °C. Mõlematel päevadel langes temperatuur linnast väljas olevates jaamades rohkem. Antud perioodi kuuma juhtumi puhul teha järelduse, et Tartu linnaala jahtub aeglasemalt, kui väljaspool linna olev ala. Linnaala saavutab kõrgema maksimaalse temperatuuri Sõpruse silla jaamas. Keskmiselt on linnaalal rohkem tunde, mis on üle 25 °C.

03-04.08.2010



Joonis 4. Õhutemperatuuri käik 48 tunni jooksul kuumalaine juhtumi 3.-4. augustil 2010

3.1.2. 28.-29. juuli 2012

Teine analüüsitav kuumalaine on perioodil 28.–29. Juuli ja analüüsis on kokku 48 tunni andmed. GMT järgi tõusis päike 28. juuli Tartus 02:56 ja loojus 19:42 ning 29. juuli tõusis 2:58 ja loojus 19:40 (www.astronoomia.ee). Antud perioodil oli päevane õhutemperatuur mõlema päeva jooksul püsivalt üle 25 °C 26 tunni vältel Tõravere jaamas.

Ilmavaatluse andmete järgi on 28. juuli ööpäev Tartumaal enamasti selge ilmaga, kella 04:00 GMT-esineb udu. Tuul on ööpäeva jooksul vaikne ning õhtuks muutub nõrgaks tuuleks. Kell 08:00 GMT oli õhurõhk 1015,7 hPa ja see oli keskööks langenud 1012,1 hPa-le. Sademeid ei ole kummagi ööpäeva jooksul. Sademeid ei ole kummagi ööpäeva jooksul. 29. juulil esineb kell 12:00 ja 15:00 GMT äike, kuid enne ja pärast äikest on enamasti selge ilm. Õhurõhk langeb ja tõuseb vahelduvalt ööpäeva jooksul, kell 8:00 GMT 1011,5 hPa ja 00:00 GMT 1011,0 hPa (www.ilmateenistus.ee).

Kõik jaamad saavutavad esimese ööpäeva kell 2 GMT madalaima temperatuuri (Joonis 5), keskmiselt 14,8 °C. Teistest kõrgem temperatuur oli Kvissentalis 16,2 °C ja minimaalne Mellistes 11,9 °C. Kella kolmeks öösel olid enamuse jaamade temperatuurid kasvavad. Kella seitsmeks hommikul on esimesed jaamad ületanud 25 °C taseme. Üheksa jaama keskmine temperatuur saavutas maksimumi 28 °C 12:00 GMT, kui temperatuuri kasv oli kümne tunni jooksul kokku 13,2 °C. Jaamadest tegi kiireima tõusu Sõpruse silla jaam, kus temperatuur kasvas kaheksa tunni jooksul, kl 2:00 GMT (16,2) kuni 10:00 GMT (29,8 °C), 13,6 kraadi võrra.

Õhtune jahenemine (17:00–22:00 GMT), oli võrreldes eelnevate tundide temperatuuri languse poolest kiirem. Kui kella 12:00-17:00 GMT langes üheksa jaama keskmine temperatuur 1,9 °C, siis 17:00-22:00 GMT langes temperatuur 3,8 °C. Kõige rohkem langes Kärevere jaam 5,1 °C ning kõige vähem langes Tõravere jaam 2,1 °C.

Antud kuumajuhtumi puhul on Tõravere jaama temperatuurid käitunud teisiti ajavahemikus 19:00–04:00, jäädes üheksa jaama standardhälbe piiridest üles poole (Joonis 5). Samal ajal teistest linnast väljas olevatest jaamadest on Kärevere ja Melliste jaam ühtedeks kõige jahedamateks punktideks. Kell 00:00 GMT on Tõravere (24,3 °C) ja Kärevere (20,2 °C) ning Melliste (20,3 °C) vahel 4 °C vahe, samal ajal on üheksa jaama keskmine 21,7 °C. Kuna

Tõravere, Kärevere ja Melliste vahel on suur erinevus muudab see üheksa jaama standardhälbe suureks.

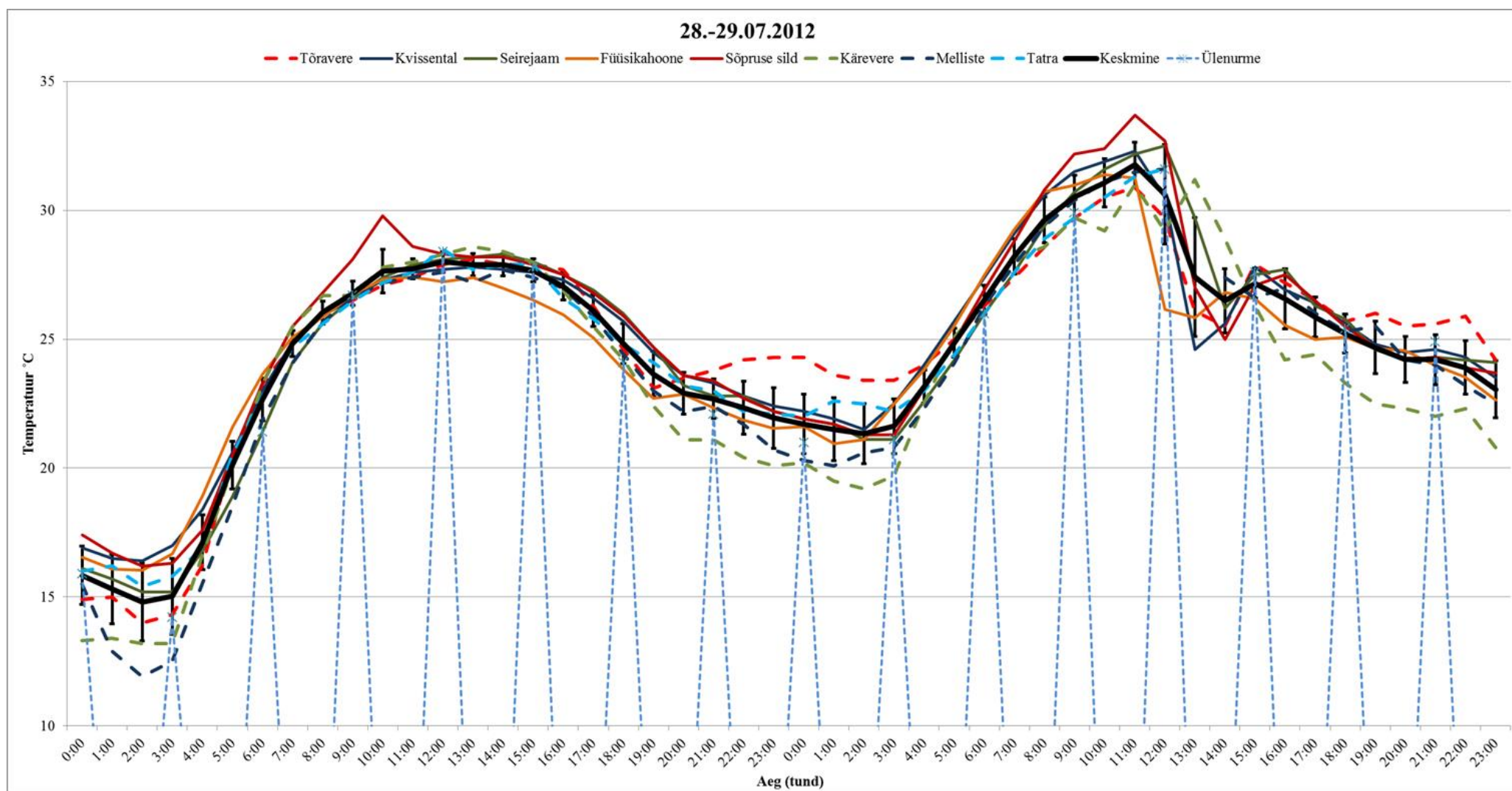
Teised jaamad jäävad sellel ajavahemikul pigem üheksa jaama keskmise lähedale. Sarnaselt esimesele päevale jõuavad jaamad 2:00–3:00 GMT vahel miinimumtasemele (Joonis 5). Üheksa jaama keskmine temperatuur hakkas kell 12:00 langema oma maksimaalsest punktist 28 °C ning jõudis 6,7 °C (02:00 GMT) langeda ehk 21,3 °C tasemele. Nelja linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus 6,6 °C. Viie linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on 6,8 °C.

Teisel päeval kell 05:00 GMT ületasid jaamad 25 °C piiri ning järgmiseks tunniks olid seda teinud kõik jaamad. Üheksa jaama keskmine temperatuur saavutas kella 11:00 GMT maksimumi 31,8 °C, tehes 10,5 °C kasvu öö miinimumist. Samal ajal oli jaamades maksimumtemperatuur Sõpruse sillal 33,7 °C, tehes 12,4 °C kasvu võrreldes öö miinimumiga ning minimaalne temperatuur Tõraveres 30,9 °C tehes 7,5 °C kasvu võrreldes öö miinimumiga. Sõpruse sillal saavutatud 33,7 °C on antud uuringu andmete ajavahemikus ja uuringu jaamade kohaselt kõrgeim temperatuur.

Tatra jaama andmed on kella 13:00 GMT kuni päeva lõpuni häiritud. Kell 13:00 GMT on jaamade vahel suurim erinevus 6,6 °C. Kõrgeim temperatuur oli Kärevere jaamas 31,2 °C ning madalaim Kvissentalis 24,6 °C. Vahemikus 12:00-14:00 olid jaamade vahelised temperatuuride erinevused kõrged ning jaamades langesid ja tõusid õhutemperatuurid järsult (Joonis 5).

Teisel päeval hakkas keskmine temperatuur langema kell 11:00 GMT oma maksimaalsest punktist 31,8 °C ning jõudis kella 23:00 GMT 8,7 °C langeda ehk 23,1 °C tasemele. Nelja linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus 8,9 °C. Nelja linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on 9 °C.

Võrreldes linnaala jaamasid antud perioodil Ülenurme, Kärevere, Melliste ja Tartra jaamadega, saab selle perioodi kuuma juhtumi puhul teha järelduse, et Tartu linnaala jahtub aeglasemalt, kui väljaspool linna olev ala. Linnaala saavutab kõrgema maksimaalse temperatuuri. Juhtumi teisel päeval käitus Tõravere jaamas temperatuur kuni kella 18:00 GMT-ni sarnaselt teiste jaamadega, kuid järgneval tunnil tõusis, kõikide teiste jaamade temperatuurid langesid.



Joonis 5. Õhutemperatuuri käik 48 tunni jooksul kuumalaine juhtumi 28.- 29. juunil 2012

3.1.3. 19.-20. mai 2014

Kolmas analüüsitav kuumalaine on perioodil 19.–20. mai ja analüüsis on kokku 48 tunni andmed. GMT järgi tõusis päike 19. mai Tartus 03:07 ja loojus 19:30 ning 20. mai tõusis 03:09 ja loojus 19:28 (www.astronoomia.ee). Antud perioodil oli päevane õhutemperatuur mõlema päeva jooksul püsivalt üle 25 °C 16 tunni vältel Tõravere jaamas. Tatra jaama andmed antud perioodi kohta puuduvad.

Ilmavaatluse andmete järgi on 19. mai ööpäev Tartumaal hommikuni enamasti pilves, ööpäeva jooksul esineb vahelduvalt pilvist ilma ja selget ning kell 21:00 on äikest ja järgnevad kaks tundi sajab vihma. Tuul on ööpäeva jooksul vaikne kuni nõrk. Õhurõhk on kell 8:00 GMT 1016,9 hPa kuni 17:00 GMT-ni langes 1016,2 hPa ning pärast ööpäeva lõpuni tõusis 1018,6 hPa-le. 20. mai on hommikul selge ilm ja 13:00-19:00 GMT pilvine ning enne päeva lõppu sajab kaks tundi vihma. Tuul on ööpäeva jooksul vaikne kuni nõrk. Õhurõhk langeb ja tõuseb vahelduvalt ööpäeva jooksul, kell 8:00 GMT 1017,9 hPa ja 00:00 GMT 1016,5 hPa (www.ilmateenistus.ee).

Jaamade temperatuurid saavutavad esimesel ööpäeval kella 02:00–03:00 GMT oma madalaima taseme (Joonis 7), keskmiselt 16,7 °C. Teistest kõrgem õhutemperatuur oli Sõpruse sillal 17,6 °C ja minimaalne Mellistes 15,4 °C. Kella 04:00 GMT olid kõikide jaamade temperatuurid kasvavad.

Kella seitsmeks hommikul on esimesed jaamade temperatuurid ületanud 25 °C taseme. Kaheksa jaama keskmine temperatuur saavutas maksimumi 30,4 °C 13:00 GMT, kui temperatuuri kasv oli üheteist tunni jooksul kokku 15 °C.

Õhtune jahenemine (17:00–22:00 GMT), oli võrreldes eelnevate tundide temperatuuri languse poolest kiirem. Kui kella 13:00–17:00 GMT langes üheksa jaama keskmine temperatuur 2,7 °C, siis 17:00-22:00 GMT langes temperatuur 9,3 °C. Kõige rohkem langes temperatuur Tõravere jaam 10,9 °C ning kõige vähem seirejaama jaam 7,9 °C. Linna jaamadest langes temperatuur Sõpruse sillal 8,4 °C, Kvissentalis 8,3 °C ja füüsikahoone jaamas 8,9 °C. Linnast väljaspool olevatest jaamadest langes temperatuur Ülenurmes 9,7 °C, Käreveres 10,8 °C ja Mellistes 10 °C. Linna ja linnast väljas asuvate jaamade võrdluses saab välja tuua, et linnajaamad jahtusid vähem.

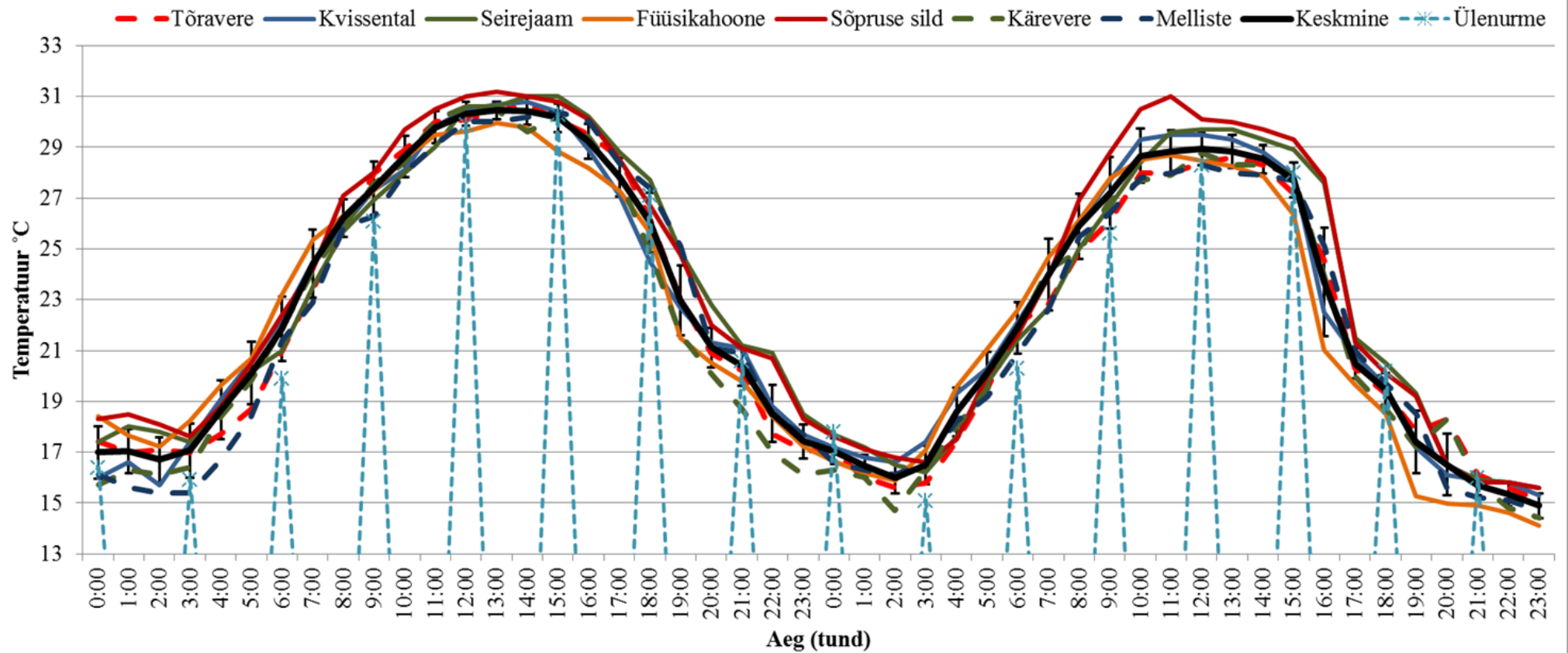
Sarnaselt esimesele päevale jõuavad jaamad 2:00–3:00 GMT vahel miinimumtasemele (Joonis 7). Kaheksa jaama keskmine temperatuur hakkas kell 13:00 langema oma maksimaalsest punktist 30,4 °C ning jõudis 14,4 °C (02:00 GMT) langeda ehk 16 °C tasemele. Nelja linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus 14,2 °C. Nelja linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on 14,9 °C.

Teisel päeva kella 07:00 GMT ületasid esimesed jaamad 25 °C piiri ning kella 09:00 GMT olid seda teinud kõik jaamad. Kaheksa jaama keskmine temperatuur saavutas kella 11:00 GMT maksimumi 28,8 °C, tehes 13 °C kasvu öö miinimumist.

Teisel päeval hakkas keskmine temperatuur langema kell 11:00 GMT oma maksimaalsest punktist 29 °C ning jõudis kella 23:00 GMT 14,1 °C langeda ehk 14,9 °C tasemele. Selles vahemikus langevad enamus jaamasid kaheksa jaama standardhälve piiridesse. Sõpruse silla jaam jääb kella 09:00 GMT kuni 17:00 GMT kaheksa jaama standardhälbest üles poole. Sõpruse silla jaama õhu temperatuur jõuab kell 11:00 GMT teistest jaamadest rohkem tõusta ning on selle hetke kaheksa jaama keskmisest 2,3 °C soojem. Lisaks jääb seirejaama jaama õhutemperatuur kella 13:00–17:00 GMT vahemikus üles poole kaheksa jaama standardhälbe piire. Nende kahe linnasisese jaama suurem kuumenemine näitab, et linnas tõuseb temperatuur päeva jooksul rohkem, kui linnast väljas. Nelja linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus 14,4 °C. Nelja linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on 13,3 °C.

Võrreldes linnaala jaamasid linnast väljaspool asuvatega saab välja tuua maksimaalsete temperatuuride erisuse. Linnasisesel alal saavutavad jaamad keskmiseks maksimumtemperatuuriks 30 kraadi ja linnavälised 29,4 kraadi. Jaamade temperatuuride jahtumise puhul saab tuua sarnase tulemuse, eriti esimesel päeval, kui keskmine linnasisene miinimumtemperatuur on kõrgem kui linnast väljas asuvate jaamade keskmine. Kuigi teise päeva lõppedes langes keskmiselt linna sees temperatuur rohkem kui linnast väljas asuvate jaamade puhul. Siiski jäid temperatuurid linnasiseselt mõnevõrra kõrgemale, erandina füüsikahoone jaam.

19-20.05.2014



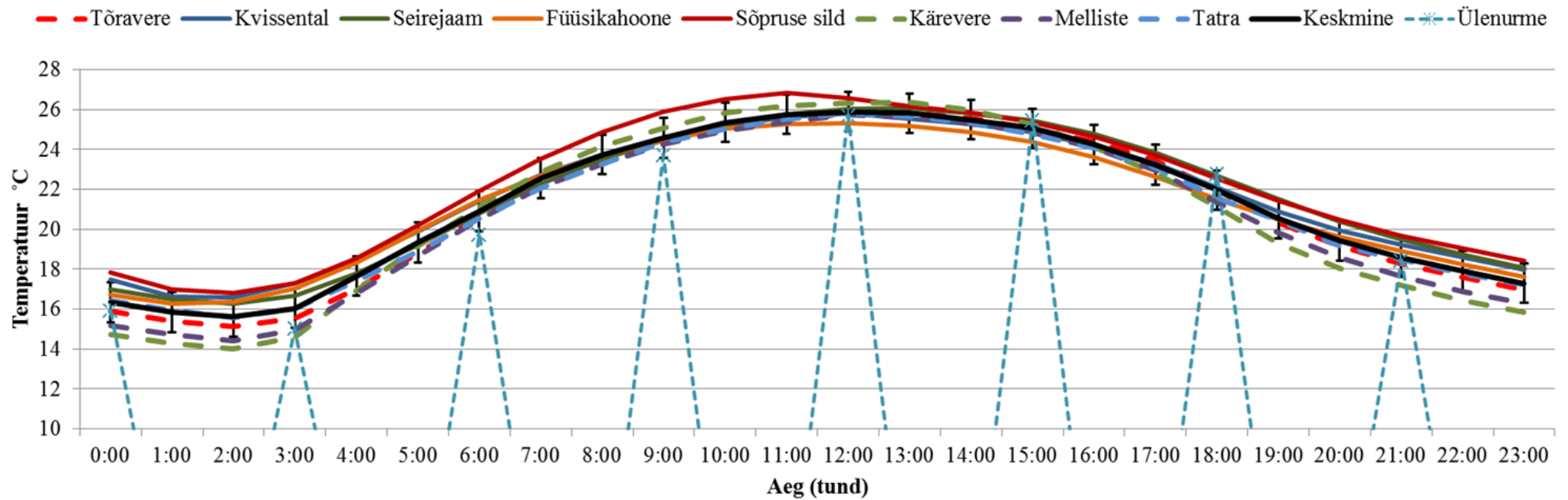
Joonis 6. Õhutemperatuuri käik 48 tunni jooksul kuumalaine juhtumi 19.-20. mail 2014

3.1.4. 331 kuumapäevade keskmine

Kui võrrelda kuumajuhtumite graafikuid (Joonised 4, 5 ja 6) ja 331 kuumapäeva keskmise graafikut (Joonis 7), siis saab välja tuua sarnaseid tulemusi linnaala ja linnavälise ala võrdlusel. Juhtumite graafikult saab peamiselt välja tuua linna ala aeglasema jahtumise, kuid ka osaliselt kõrgema temperatuuri päeva alguses võrreldes linnavälise alaga. Keskmiste graafikul (Joonis 7) tuleb selgelt välja, et päeva alguses ja lõpus on linnaala soojem, kui jaamade keskmine ning linnavälised alad. Erandiks siin on Tatra jaam, mis on keskmise graafiku alguses sarnasel tasemel linnaala jaamadega, kuid päeva lõpetab mõnevõrra alla keskmise.

Linna jaamadest toon välja Sõpruse silla, mille õhutemperatuurid tõusid iga juhtumi puhul kõrgemale, võrreldes kõigi teiste jaamadega. Sarnast tulemust kinnitab ka keskmiste graafik (Joonis 7), kus jaam on vahepeal märgatavalt soojem kui teised jaamad. Selline käitumine viitab Sõpruse silla punkti asumist soojasaare juures, sest võrdlusena Kvissentali punkt asub sarnaselt jõe ääres, kuid on võrreldes linnaväliste jaamade ja keskmisega soojem vaid päeva alguses ja lõpus.

Kuumapäevade keskmine



Joonis 7. 331 kuumapäeva keskmise õhutemperatuuri käik 24 tunni jooksul

3.2. Külma juhtumid

3.2.1. 28.-29. november 2010

Esimene analüüsitav külmalaine on 28.–29. november ja analüüsis on kokku 48 tunni andmed. GMT järgi tõusis päike 28. novembril Tartus 06:29 ja loojus 13:33 ning 29. novembril tõusis 6:31 ja loojus 13:32 (www.astronoomia.ee). Antud perioodil langes päevane õhutemperatuur alla $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja jäi püsima 9 tunniks Tõravere jaamas. Kvissentali jaam on antud perioodil arvutustest välja jäänud, sest jaam ei töötanud veel.

Ilmavaatluse andmete järgi on 28. novembri ööpäev Tartumaal hommikuni enamasti pilves. Tuul on ööpäeva jooksul vaikne. Kell 08:00 GMT oli õhurõhk 1021,7 hPa ja see oli keskööks tõusnud 1027,8 hPa-le. 29. novembril on hommikul selge ilm ja pilvine alates 10:00 GMT kuni keskööni. Tuul on ööpäeva jooksul vaikne kuni nõrk. Kell 08:00 GMT oli õhurõhk 1027,9 hPa ja see oli keskööks langenud 1022,4 hPa-le. Perioodil esineb nõrka lume sadu (www.ilmateenistus.ee).

Jaamades fikseeritud temperatuurid saavutavad esimese ööpäeva kell 6:00 GMT madalaima temperatuuri (Joonis 8), keskmiselt $-9,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teistest kõrgem õhutemperatuur oli seirejaamas $-9,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja minimaalne Käreveres $-10,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kaheksa jaama keskmine temperatuur saavutas maksimumi $-9,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 10:00 GMT, kui temperatuuri kasv oli nelja tunni jooksul kokku $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

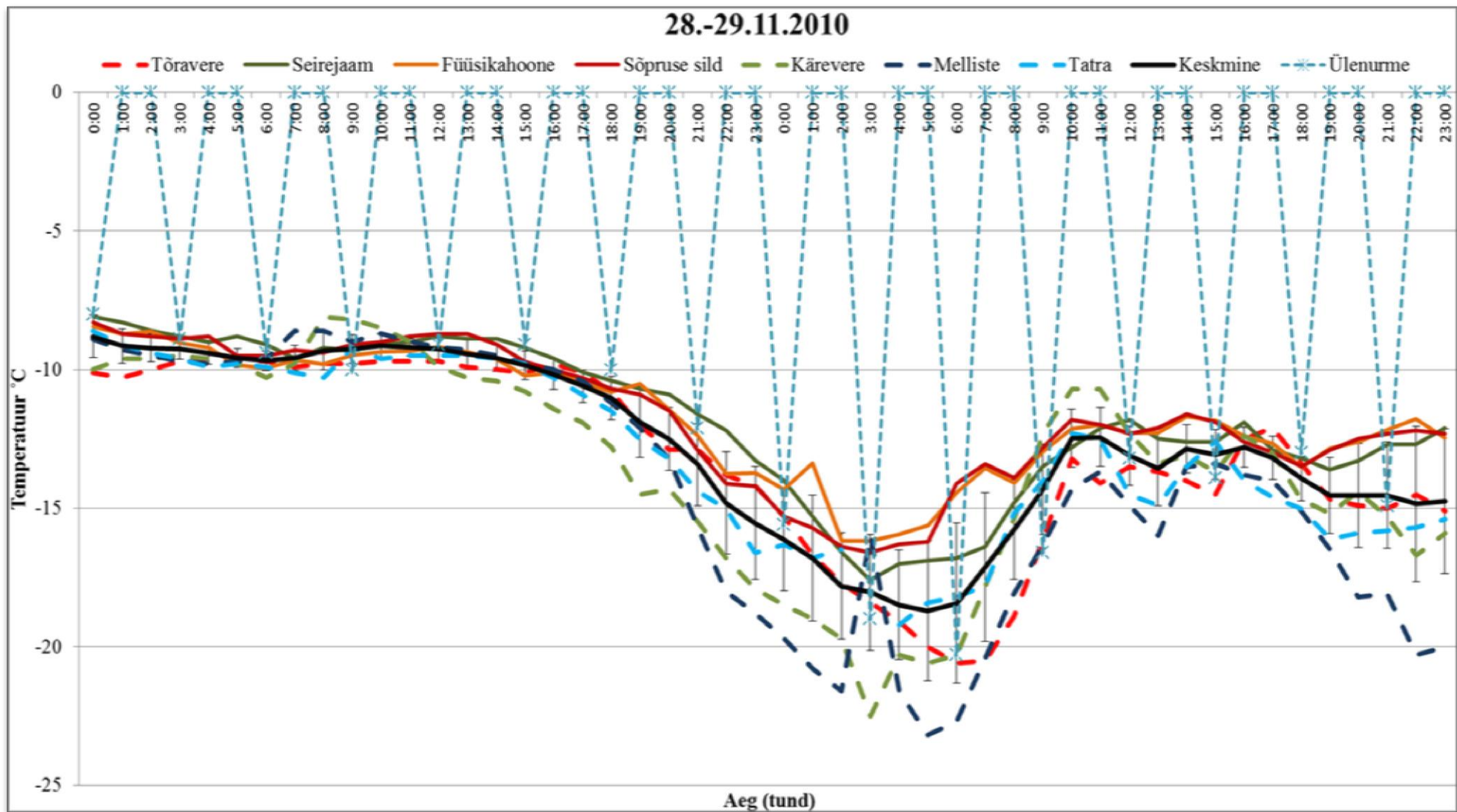
Kell 10:00 GMT hakkavad jaamades fikseeritud temperatuurid alanema. Õhtune jahenemine (17:00-22:00 GMT), oli võrreldes eelnevate tundide temperatuuri languse poolest kiirem. Kui kella 10:00-17:00 GMT langes kaheksa jaama keskmine temperatuur $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, siis 17:00-22:00 GMT langes temperatuur $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kõige rohkem langes Melliste jaam $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning kõige vähem langes seirejaam $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teistest Linna jaamadest langesid füüsikahoone $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja Sõpruse silla jaam $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Linnast väljas olevatest jaamadest langesid Tõravere $3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ Ülenurme $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, Kärevere $4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja Tatra $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kaheksa jaama keskmine temperatuur hakkas kell 10:00 GMT langema oma maksimaalsest punktist $-9,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning jõudis $9,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (05:00 GMT) langeda ehk $-18,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ tasemele. Kolme linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Viie linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on $11,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Teise ööpäeva kella 07:00 GMT olid kõikide jaamade temperatuurid tõusvad. Kaheksa jaama keskmine temperatuur saavutas kella 11:00 GMT maksimumi $-12,6^{\circ}\text{C}$, tehes $6,3^{\circ}\text{C}$ kasvu öömiinimumist.

Teisel päeval hakkas keskmine temperatuur langema kell 11:00 GMT oma maksimaalsest punktist $-12,4^{\circ}\text{C}$ ning jõudis kella 23:00 GMT $2,4^{\circ}\text{C}$ langeda ehk $-14,8^{\circ}\text{C}$ tasemele. Kolme linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus $0,3^{\circ}\text{C}$. Viie linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on $3,1^{\circ}\text{C}$.

Antud külmajuhtumi puhul saab välja tuua jaamade suurema kõikumise madalamate külmakraadide korral. Esimesel ööpäeva alguses liikusid jaamad graafikul (joonis 7) sarnasel tasemel ilma suuremate kõikumisteta. Päeva keskpaigas hakkas temperatuur langema kiiremini ning Melliste ja Tatra jaama õhutemperatuurid langesid teiste jaamadega võrreldes kiiremini (Joonis 8). See suurendab tugevalt vahesid teiste jaamadega. Antud külma juhtumi puhul saab teha järelduse, et Tartu linnaalal ei lange temperatuur sama kiirelt nagu linnavälisel alal. Esimese päeva õhtuse jahenemise järel (22:00 GMT) oli kõige kõrgema temperatuuriga jaam seirejaam ($-12,2^{\circ}\text{C}$) ja kõige madalamaga Melliste (-18°C), nende jaamade temperatuuride vahe oli $5,8$ kraadi. Teisel päeval samal ajahetkel oli kõige kõrgema õhutemperatuuriga füüsikahoone ($-11,8^{\circ}\text{C}$) ja madalaimaga Melliste ($-20,3^{\circ}\text{C}$), nende jaamade vahe oli $8,5$ kraadi.



Joonis 8. Õhutemperatuuri käik 48 tunni jooksul külmalaine juhtumi 28.- 29. novembril 2010

3.2.2. 4.-5. veebruar 2012

Teine analüüsitav külmalaine on 4.–5. veebruar ja analüüsis on kokku 48 tunni andmed. GMT järgi tõusis päike 4. veebruaril Tartus 06:13 ja loojus 14:42 ning 5. veebruaril tõusis 6:11 ja loojus 14:44 (www.astronoomia.ee). Antud perioodil langes päevane õhutemperatuur alla -15°C ja jäi püsima 48 tunniks Tõravere jaamas.

Ilmavaatluse andmete järgi on 4. veebruar ööpäev Tartumaal enamasti selge. Tuul on ööpäeva jooksul vaikne. Kell 08:00 GMT oli õhurõhk 1049,0 hPa ja see oli keskööks langenud 1041,7 hPa-le. 5. veebruar on selge ilmaga. Tuul on ööpäeva jooksul vaikne. Kell 08:00 GMT oli õhurõhk 1042,8 hPa ja see oli keskööks tõusnud 1046,5 hPa-le. Sademeid ei esine antud perioodil (www.ilmateenistus.ee).

Jaamades fikseeritud temperatuurid saavutavad esimese ööpäeva kell 5:00 GMT madalaima temperatuuri (Joonis 9), keskmiselt $-28,8^{\circ}\text{C}$. Teistest kõrgem õhutemperatuur oli Kvissentalis $-27,4^{\circ}\text{C}$ ja minimaalne Mellistes $-34,2^{\circ}\text{C}$, see on ühtlasi antud uuringu madalaim temperatuur kõikide analüüsitavate jaamade ja aastate peale kokku. Kella 08:00 GMT olid kõikide jaamade temperatuurid kasvavad.

Üheksa jaama keskmine temperatuur saavutas maksimumi -21°C 12:00 GMT, kui temperatuuri kasv oli seitsme tunni jooksul kokku $7,2^{\circ}\text{C}$. Jaamadest tegi kiireima tõusu Melliste jaam, kus temperatuur kasvas kaheksa tunni jooksul, kl 5:00 GMT ($-34,2^{\circ}\text{C}$) kuni 12:00 GMT ($-20,8^{\circ}\text{C}$), 13,4 kraadi võrra.

Õhtune jahenemine (17:00–22:00 GMT), oli võrreldes eelnevate tundide temperatuuri languse poolest aeglasem. Kui kella 12:00–17:00 GMT langes üheksa jaama keskmine temperatuur $3,5^{\circ}\text{C}$, siis 17:00–22:00 GMT langes temperatuur $2,8^{\circ}\text{C}$. Kõige rohkem langes Tõravere ja Melliste jaam $4,6^{\circ}\text{C}$ ning kõige vähem langes seirejaam $1,1^{\circ}\text{C}$.

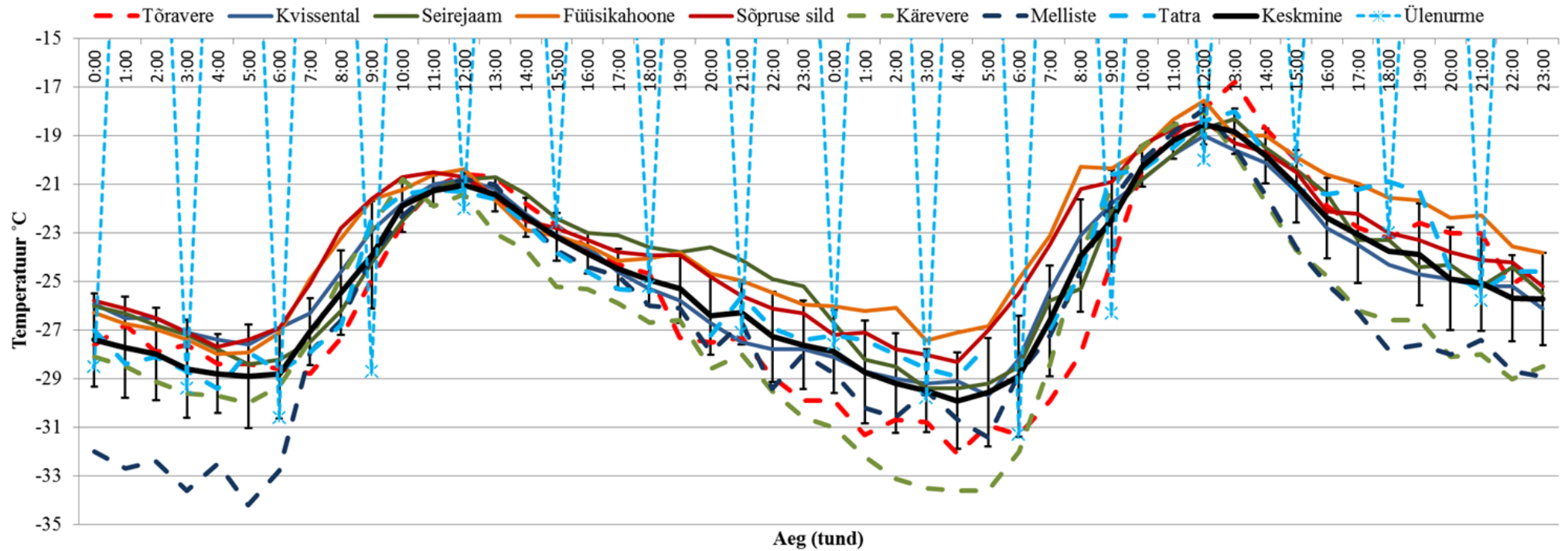
Sarnaselt esimesele ööpäevale jõuavad jaamade temperatuurid kella 4:00–5:00 GMT vahel miinimumtasemele (Joonis 9). Linnajaamade temperatuurid jäid kõrgemaks, kui linnast väljaspool olevate jaamade omad. Üheksa jaama keskmine temperatuur hakkas kell 12:00 langema oma maksimaalsest punktist -21°C ning jõudis $8,9^{\circ}\text{C}$ (04:00 GMT) langeda ehk $-29,9^{\circ}\text{C}$ tasemele. Nelja linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus $7,7^{\circ}\text{C}$. Viie linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on $10,1^{\circ}\text{C}$.

Teise ööpäeva kella 07:00 GMT olid kõikide jaamade temperatuurid kasvavad. Üheksa jaama keskmine temperatuur saavutas kella 12:00 GMT maksimumi $-18,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, tehes $11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ kasvu öö miinimumist. Teisel päeval hakkas keskmine temperatuur langema kell 12:00 GMT oma maksimaalsest punktist $-18,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning jõudis kella 23:00 GMT $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ langeda ehk $-25,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ tasemele. Nelja linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nelja linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on $3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Perioodi külmajuhtumi puhul saab välja tuua jaamade temperatuuride suurema kõikumise madalamate külma kraadide korral. Jaamad jõudsid päeva jooksul sarnasesse vahemikku, nagu on näha graafikul (joonis 9). Kuid ajad, millal temperatuur oli alla $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, muutusid jaamades fikseeritud temperatuuride vahed suuremaks ning üheksa jaama standardhälve oli üle ühe ning vahepeal üle kahe. Esimese ööpäeva graafiku (joonis 9) alguses on näha, et Melliste jaama temperatuur jääb teistega võrreldes allapoole ning see suurendab tugevalt vahesid teiste jaamadega. Sellel päeval oli Mellistes kõige külmem punkt $-34,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning samal ajal kõige soojem punkt Sõpruse sillal $-27,4$, mis teeb temperatuuri erinevuseks $6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ühtlasi on tegu linnasisese ja linnast väljas asuva jaama õhutemperatuuri vahega. Järgmine suurem kõikumine toimub sama ööpäeva 19:00 GMT ning kestab järgmise ööpäeva kella 9:00 GMT (Joonis 9). Perioodi suurimaks temperatuuri vaheks on Kärevere $-33,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja füüsikahoone $-26,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning erinevus on $6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Periood lõppeb sarnaselt kui kella 13:00 GMT hakkavad Kärevere ja Melliste jahtuma palju kiiremini, kui teised jaamad (joonis 9).

Antud külmajuhtumi puhul saab teha järelduse, et Tartu linnaalal ei lange temperatuur sama kiirelt nagu linnavälisel alal. Mõlemal päeval on õhtusel jähinemisel linnasisese ja linnast väljas asuvate jaamade jahtumise vahel vahe, kus linnaala jahtub vähem kui linnast väljas olev jaam. Mõlema ööpäeva minimaalse temperatuuri hetkel on samal ajal kõrgem temperatuur linna jaamas ning vahe on $6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ linnavälise jaamaga. Linnaala igatunnised jahtumised ja soojenemised pole nii järsud, kui väljaspool linna. Graafikult (Joonis 9) saab näha, et linnavälised alad jäävad pigem allapoole üheksa jaama keskmist ning näitavad antud perioodil suuremaid kõikumisi võrreldes linnaaladega.

04-05.02.2012



Joonis 9. Õhutemperatuuri käik 48 tunni jooksul külmalaine juhtumi 04.-05. veebruaril 2012

3.2.3. 29.-30. jaanuar 2014

Kolmas analüüsitav külmalaine on 29.–30. jaanuar ja analüüsis on kokku 48 tunni andmed. GMT järgi tõusis päike 29. jaanuaril Tartus 06:25 ja loojus 14:28 ning 30. jaanuaril tõusis 6:23 ja loojus 14:31 (www.astronoomia.ee). Antud perioodil langes päevane õhutemperatuur alla -15 °C ja jäi püsima 40 tunniks Tõravere jaamas.

Ilmavaatluse andmete järgi on 29. jaanuari ööpäev Tartumaal selge. Tuul on ööpäeva jooksul enamasti nõrk. Kell 08:00 GMT oli õhurõhk 1040,6 hPa ja see oli keskööks tõusnud 1042,3 hPa-le. 30. jaanuaril on enamasti selge ilm. Tuul on ööpäeva jooksul nõrk. Kell 08:00 GMT oli õhurõhk 1043,9 hPa ja see oli keskööks langenud 1043,6 hPa-le. Sademeid sellel perioodil ei esine (www.ilmateenistus.ee).

Jaamades fikseeritud temperatuurid saavutavad esimese ööpäeva kell 6:00 GMT madalaima taseme (Joonis 10), keskmiselt $-16,7\text{ °C}$. Kella 08:00 GMT olid kõikide jaamade temperatuurid tõusvad. Üheksa jaama keskmine saavutas maksimumi $-13,2\text{ °C}$ 11:00 GMT, kui kasv oli seitsme tunni jooksul kokku $3,5\text{ °C}$.

Õhtune jahenemine (17:00–22:00 GMT), oli võrreldes eelnevate tundide temperatuuri languse poolest aeglasem. Kui kella 12:00–17:00 GMT langes üheksa jaama keskmine $2,6\text{ °C}$, siis 17:00–22:00 GMT langes $2,2\text{ °C}$. Kõige rohkem langes seirejaam $2,6\text{ °C}$ võrra ning kõige vähem langes Kärevere $1,9\text{ °C}$. Teistest linnajaamadest langesid Kvissental $2,2\text{ °C}$, füüsikahoone $2,1\text{ °C}$ ja Sõpruse silla jaam $2,2\text{ °C}$. Linnast väljas olevatest jaamadest langesid temperatuurid Tõraveres $2,4\text{ °C}$, Mellistes $2,2\text{ °C}$ ja Tatra 2,3 $°C$.

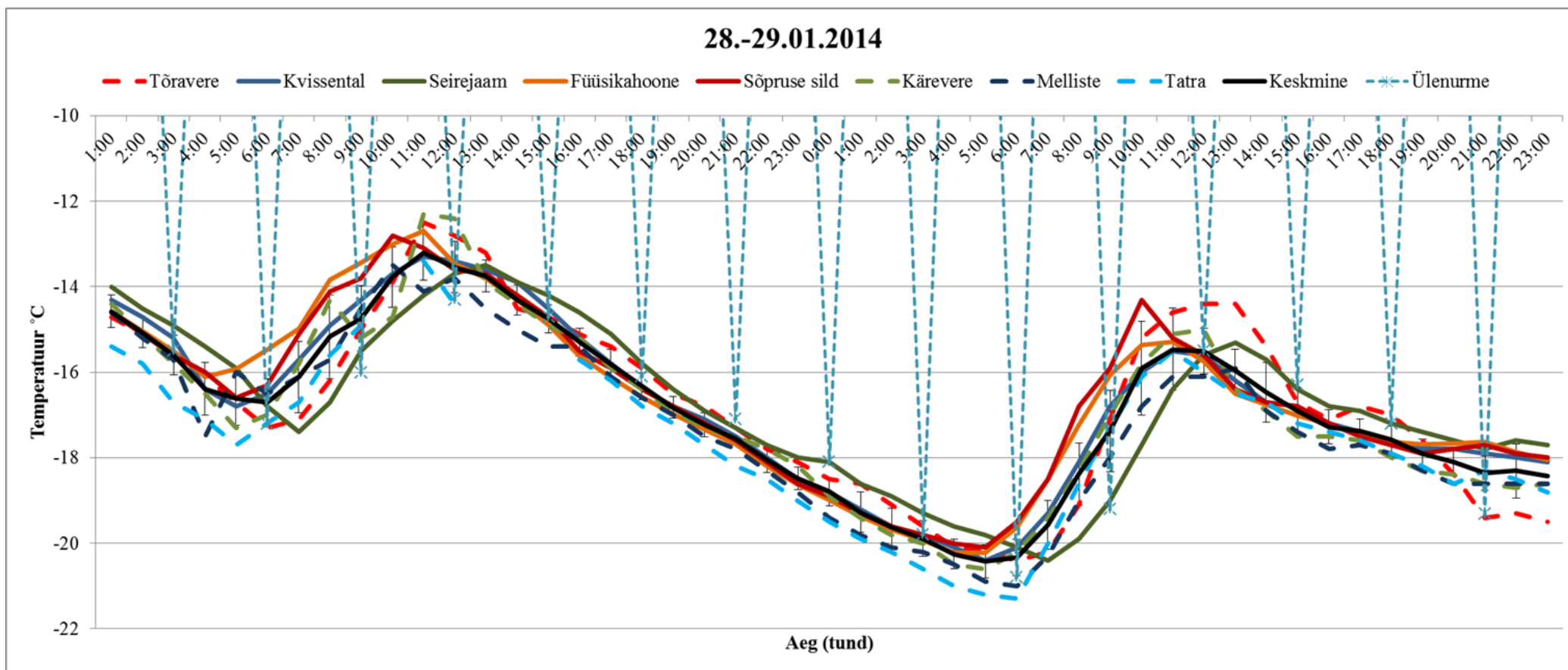
Sarnaselt esimesele ööpäevale jõuavad jaamad kella 5:00–6:00 GMT vahel miinimumtasemele (Joonis 10). Üheksa jaama keskmine temperatuur hakkas kell 11:00 langema oma maksimaalsest punktist $-13,2\text{ °C}$ ning jõudis $7,2\text{ °C}$ (05:00 GMT) langeda ehk $-20,4\text{ °C}$ tasemele. Nelja linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus $6,8\text{ °C}$. Viie linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on $7,4\text{ °C}$.

Teise ööpäeva kella 07:00 GMT olid kõikide jaamade temperatuurid tõusevad. Üheksa jaama keskmine temperatuur saavutas kella 12:00 GMT maksimumi $-15,5\text{ °C}$, tehes $4,9\text{ °C}$ kasvu öö miinimumist.

Teisel päeval hakkas keskmine temperatuur langema kell 12:00 GMT oma maksimaalsest punktist $-15,5\text{ °C}$ ning jõudis kella 23:00 GMT $2,9\text{ °C}$ langeda ehk $-18,4\text{ °C}$ tasemele. Nelja

linnajaama peale on keskmine temperatuuri langus 2,3 °C. Nelja linnast väljaspool oleva jaama keskmine temperatuuri langus on 3,4°C.

Antud külmajuhtumi puhul saab välja tuua jaamade üsna korrapärase käitumise võrreldes eelmiste külmalainete juhtumitega (Joonis 10). Jaamad jäid üldiselt üheksa jaama standardhälbe vahemiku sisse. Välja saab tuua Kärevere, Melliste ja Tatra jaamad, mis olid enamasti allpool üheksa jaama keskmise taset. Periood hakkas pihta, kui jaamad ei olnud veel -15 °C taset ületanud ning esimese ööpäeva kella 2:00 GMT olid seda teinud enamus jaamasid, erandina Kvissentali jaam ja seirejaam. Tugevam külm saab läbi kella 9:00 GMT, kui üle poolte jaamadest on üleval pool -15 °C (Kvissental, füüsikahoone, Sõpruse silla, Melliste ja Tatra). Antud perioodi külma juhtumi puhul saab teha järelduse, et Tartu linnaalal ei lange temperatuur sama kiirelt nagu linnavälisel alal. Mõlemal päeval on õhtusel jähenedemisel linnasisese ja linnast väljas asuvate jaamade jahtumise vahel vahe, kus linnaala jahtub vähem kui linnast väljas olev jaam. Linnaala igatunnised jahtumised ja soojenedemised pole nii järsud, kui väljaspool linna.



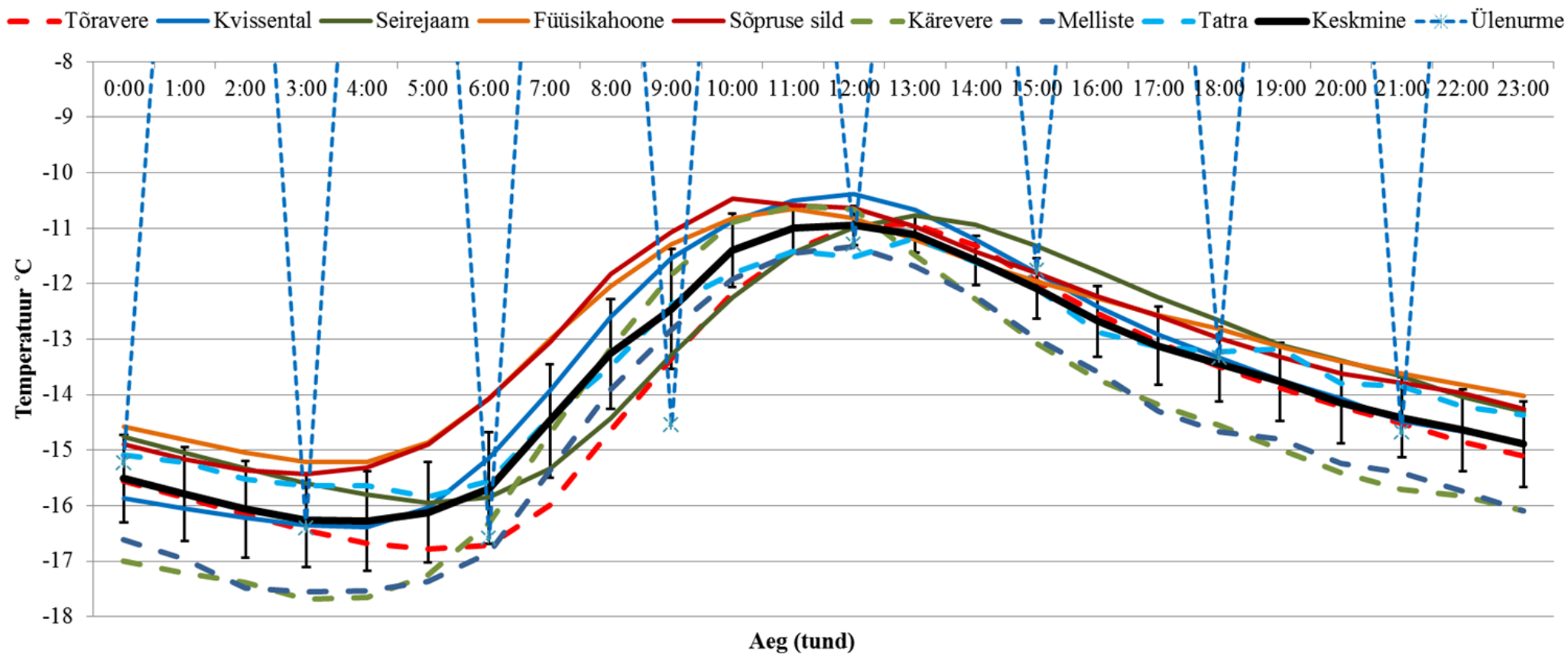
Joonis 10. Õhutemperatuuri käik 48 tunni jooksul külmalaine juhtumi 28.-29. jaanuaril 2014

3.2.4. 220 külmapäevade keskmine

Külmapäevade graafikult saab näha sarnaseid tulemusi kuumapäevade graafikutega. Linnaala on soojem ja linnaväline ala on külmem ning eriti ööpäeva alguses ja lõpus on see vahe suur. Kui kuumapäevade graafikul oli Tatra jaam päeva alguses graafikul käitunud erandlikult, olles keskmise joonest kõrgema õhutemperatuuriga, siis külmapäevade keskmise graafikul on jaama õhutemperatuurid nii päeva alguses kui ka lõpus kõrgemad kui keskmine.

Kuumapäevade puhul sai näha Sõpruse silla punktis selgeid soojasaare mõjusid, siis juhtumite graafikuid vaadates võib sarnaseid tulemusi näha graafikul (Joonis 9), kui ka 220 külmapäeva keskmise graafikul (Joonis 11.). Vaadates külmapäevade keskmiste graafikut, saab näha Sõpruse silla ja Kvissentali punktide soojemat olekut võrreldes teiste linnajaamadega, kuid eriti linnaväliste jaamadega. Reeperiks võetud Tõravere jaamast on linnasisesed jaamad samuti 1-3 kraadi soojemad ning eriti suureks läheb see vahe varahommikul päikesetõusu ajal. Külmakraadide graafiku iseärasuseks on õhutemperatuuride suurem hüplikus. Juhtumite graafikutel on seda parem näha, kus õhutemperatuur muutub ühe tunniga 5 kraadi, näiteks esimese analüüsitava külmalaine graafikul (Joonis 8) on teise päeva alguses Mellistes toimunud sarnane kõikumine.

Külmapäevade keskmine



Joonis 11. 220 külmapäeva keskmise õhutemperatuuri käik 24 tunni jooksul

4. Arutelu

Eestis on linnakliima küsimustega suhteliselt vähe tegeletud. Peamised uuringud on tehtud Tallinna kohta ning nendest põhjalikumad on: Andres Tarandi teos (Tarand 1986); Mari Kääri tööd „Tallinna soojasaare seos talviste ilmastikuteguritega“ (Käär 2015; Tomingas ja Käär 2016); lõpparuanne „Kliimamuutuste mõjude hindamine ja kohanemismeetmete väljatöötamine planeeringute, maakasutuse, inimestevise ja päästevõimekuse teemas linnade mikroklimatoloogia“ peatükk kuumapäevade haavatavuse hindamine linnades (KATI 2015); raamatu „Kliimamuutustega kohanemine Eestis –valmis vääramatuks jõuks?“ peatükk „Kuumalained ja soojussaared – Tallinna näide“ (Sagris jt. 2015). Lisaks nendele töödele, on linnaklimatoloogiast ning täpsemalt õhutemperatuuridest räägitud ilmastiku raamatutes „Klimat Tallina“ (Prilipko 1982) ja „Klimat Pjarnu“ (Prilipko 1986). Otseselt Tartu linna kliimaga pole põhjalikult tegeletud. Kuna probleemid muutuvad üha aktuaalsemaks ja UHI mõjud kasvavad, on oluline uurida, kuidas õhutemperatuur Tartu linnas käitub.

Andres Tarand on raamatus „Eesti kliima minevikus ja tänapäeval“ peatükis „Varasemad ilmavaatlused“ kirjutanud 19. sajandil ja osaliselt 20. sajandil Tartu linnas toimunud õhutemperatuuri mõõtmistest ja nende täpsusest (Tarand jt. 2013). Mõõtmispunktid jäid enamasti kesklinna, Vaksali ja Karlova piirkonda. Mõõtmiste peamiseks probleemideks peetakse mõõtmiste järjepidevuse puudumist, tänapäevaks osade andmete käsikirjade kadumist.

Töö koostamise esimeseks eesmärgiks oli teada saada, milliseid mõõteposte oleks võimalik kasutada Tartu linna ilmastiku iseloomustamiseks. Lisaks sellele otsisin Tartust väljas asuvaid punkte, milliste paigutus annaks ülevaate linnavälistest temperatuuridest.

Leidsin, et Tartu linnas mõõdetakse õhutemperatuuri Kvissentali, seirejaama, füüsikahoone ja Sõpruse silla punktides ning linnaväliselt Tõraveres, Ülenurmes, Käreveres, Mellistes ja Tattras. Andmete kätte saamine oli mitmete jaamade puhul lihte nimelt Tõravere ja Kvissentali punktide andmeid haldab Keskkonnaministeerium, kellele tuleb vaid päring esitada. Füüsikahoone ja seirejaama andmete puhul on ligipääs internetis olemas ning andmed, mida seirejaama puhul internetis ei ole, saab päringuna kätte Eesti Keskkonnauuringute Keskuselt. Andmeid oli keerulisem saada Ülenurmest, kus

õhutemperatuurid on paber kandjale märgitud ning vajalik osa nendest tuleb ise MS Excelisse sisestada. Maanteeameti andmete puhul pole tõenäoliselt mõeldud, et keegi neid andmeid võiks mõnes teadusuuringus kasutada ja andmete kättesaadavus pole läbimõeldud.

Peamiste probleemidena saan välja tuua automaatjaamade mõõtmiste salvestamise järjepidevuse puudumist (Tabel 1.). Lisaks mõjutavad jaamade õhutemperatuuri salvestatud tulemusi tugevalt ekstreemsemad kuuma- ja külmatemperatuurid nagu näha osadel joonistelt 5. 8. ja 9. See võib tuleneda sellest, et mõõtevahendid ei talu meie kliimas esinevaid äärmustemperatuure ja annavad ilmselt valesid lugemeid. Näiteks 28.-29.11.2010 juhtumis Melliste jaam kõigub teisel päeval 5,6 kraadi olles kell 2:00 GMT -21,6 kraadi järgneval tunnil -16 kraadi ning sellest järgneval uuesti -21,6 kraadi.

Võrdluseks Suzhou ja Wuxi linna UHI uuringus toodi välja TAI järve jahutav efekt ning see tõi kaasa madalama UHI intensiivsuse. Tartu puhul on õhutemperatuuri jahutava toimega linna läbiv Emajõgi. Vaatamata veekogude toimele saadi nii Suzhou ja Wuxi linnade töös kui ka antud töö tulemustes välja tuua soojasaare efekti esinemist kesklinnas suure liiklustihedusega ja laialdaselt asfalteeritud ristmiku lähedal.

Kui vaadelda nii kuuma kui ka külmapäevade graafikuid, siis linnaväliste jaamade õhutemperatuuride kõikumised on suuremad. Linna sees olev keskkond ei lase õhutemperatuuridel nii palju kõikuda, seda eriti õhutemperatuuri languse puhul. Lisaks on näha graafikutelt, et ööpäeva jooksul on päeva algus ja lõpp linnas soojem kui linnavälisel alal. Külmapäevade juhtumite ja keskmise graafikult saab näha, kuidas linnaalal ei lange öösel temperatuur nii palju kui linnavälises jaamas. Samas külmapäevadel jõuab päevane õhutemperatuur linnaalal ja linnavälisel alal kohati samale tasemele.

Huvitava tähelepanekuna on uuringu perioodil kõige külmem ja soojem õhutemperatuur langenud 2012 aastale. Lisaks on kõige külmem temperatuur (-34,2 °C) saavutatud linnavälises jaamas Mellistes ja kõige soojem (33,7 °C) linnaalal Sõpruse silla jaamas. See teeb 67,9 kraadise temperatuuri vahe miinimum ja maksimum õhutemperatuuri vahel.

Kokkuvõte

Õhutemperatuur mõjutab suuresti meie igapäevast elukeskkonda, tekitades kas mugavust või ebamugavust, vastavalt selle tasemele. Ekstreemsed temperatuurid mõjutavad inimeste tervist tugevalt ning võivad isegi suurendada suremust, eriti haigete ja eakate inimeste puhul. Käesoleva töö eesmärk on välja selgitada, kus asuvad Tartus ja Tartu lähipiirkonnas õhutemperatuuri salvestavad mõõtmispunktid. Leitud mõõtepunktide õhutemperatuuride andmete põhjal leida, kuidas kajastuvad kuuma- ja külmalained Tartu ja selle lähipiirkonna õhutemperatuuri mõõtepunktide andmetes.

Magistritöös kasutasin Tartus ja Tartu lähiümbruses asuva üheksa erineva allika andmeid, millest kokku sain 10 erinevat punkti eelnevalt nimetatud ala peale. Tõravere, Ülenurme ja füüsikahoone (kahe punkti peale kokku) punktist kasutasin andmeid ajavahemikus 01.09.2003-16.11.2016; Melliste, Kärevere, Tatra ja Sõpruse silla punktist kasutasin andmeid ajavahemikus 11.02.2009-16.11.2016; Kvissentali punktist kasutasin andmeid ajavahemikus 01.01.2011-16.11.2016 ja seirejaama punktist kasutasin andmeid ajavahemikus 12.06.2008-16.11.2016.

Kuumajuhtumite analüüsist tuleb välja, et Tartu soojeneb kuumalaine puhul rohkem, kui selle väline ala. Kui vaadelda 24 tunni andmeid, siis ööpäeva jooksul on hommikud ja õhtud soojemad, kui linnavälised alad. Kuigi Tartu on maailma mastaabis suhteliselt väike ning ka roheline, esineb ka siin linnaalale omaseid kõrgema temperatuuriga punkte, mida kutsutakse soojasaarteks. Sõpruse silla punkti juhtumitest tuli välja, et see asub soojasaare läheduses, sest antud piirkond kuumenes kõrgematele temperatuuridele, kui ülejäänud linnaala, kuigi asub jahutava efektiga jõe ääres. Teised linnaala punktid olid ühtlaselt kõrgema õhutemperatuuriga, võrreldes linnaväliste punktidega. Kuigi füüsikahoone punkt asub maja katusel, käitub see tüüpilise linnasisese punktina. Õhtune jahenemine linna puhul toimus aeglasemalt, kui linnavälisel alal, mis on kindlasti tingitud linnaalal kasutatavatest tehismaterjalidest, millel on omadus salvestada soojust. Tulemuste võrdluseks terve töö ajavahemikul esinenud kuumapäevade andmetega koostas 331 kuumapäeva baasil keskmise kuumapäeva graafiku. Keskmiste graafikust tuleb sama tulemus, mis tuleb juhtumite graafikust, ainult see on konkreetsemalt välja joonistunud. Kõik linnaalad on kõrgema temperatuuriga, kui kõigi jaamade keskmine ja linnavälised alad on madalama

temperatuuriga. Lisaks on Sõpruse silla jaam päeva jooksul tunduvalt kõrgema temperatuuriga, kui teised linnaala jaamad.

Külmajuhtumite analüüsi tulemused on sarnased kuumajuhtumitele, ehk ka siin on linnaala kõrgema õhutemperatuuriga, kui linnaväline ala. Külmajuhtumite graafikuid vaadates on näha, et õhutemperatuuri alanemisele reageerivad linnaala jaamad aeglasemalt ning linnavälised jaamad kiiremini. Samuti on näha, et languse miinimum punktid linna sees on kõrgemal kui linnast väljas, seega jääb linnaala õhutemperatuur kõrgemaks, kui linnaväline. Külmalaine puhul on juhtumite graafikul linnaala jaamade õhutemperatuurid pigem kõrgemad ja üleval pool jaamade keskmist. Linnavälised jaamad madalamad ja allpool jaamade keskmist. Tulemuste võrdluseks terve töö ajavahemikul esinenud külmapäevade andmetega koostasin 220 külmapäeva baasil keskmise külmapäeva graafiku. Keskmiste graafikult saab sarnase tulemuse, mille saab juhtumite graafikust, nende puhul ei toimu järske õhutemperatuuride hüplemisi ning sarnane tulemus juhtumitega tuleb selgemalt välja.

Kokkuvõtvalt võiks öelda, et Tartus ja selle lähedal on suhteliselt palju mõõtepunkte, mille alusel analüüsida linna õhutemperatuuri eripärasid meso- ja kohati isegi kohaliku tsooni tasandil. Samas pole neli linnasisest mõõtepunkti piisav, et iseloomustada Tartu mikrokliimat. Ka on mõõtmised erineva ajalise sammuga ja kõikuva kvaliteediga. Temperatuuri andmete analüüs näitas, et Tartu kesklinna liiklussõlmes kujuneb selgelt välja soojussaar, kus temperatuurid on mõneti kõrgemad, kui lähiümbruses ja linnavälisel alal.

Kasutatud kirjandus

1. Åström C, Orru H, Rocklöv J, et al. Heat-related respiratory hospital admissions in Europe in a changing climate: a health impact assessment. <http://bmjopen.bmj.com/content/3/1/e001842> 20.03.2017
2. Atta-ur-Rahman; Parvin. G.A; Shaw. R; Surjan. A. 2016. 3 – Cities, Vulnerability, and Climate Change. Urban Disasters and Resilience in Asia. Butterworth Heinemann. 35–47
3. Baranka. G; Bozó. L; Ciglič. R; Komac. B. 2016. Urban Heat Island Gold Standard and Urban Heat Island Atlas. Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario. Springer Nature. 41-70
4. Buyadi. S.N.A; Naim. W.M; Misni. A. 2013. Green Spaces Growth Impact on the Urban Microclimate. Social and Behavioral Sciences. Vol. 105, 547 – 557.
5. Cortekar. J; Bender. S; Brune. M; Groth. M. 2016. Why climate change adaptation in cities needs customised and flexible climate services. Climate Services, Vol. 4, 42–51.
6. Doick. K.J; Peace. A; Hutchings. T.R. 2014. The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. Science of the Total Environment. Vol. 493, 662–671.
7. Douglas. I. 2011. The analysis of cities as ecosystems. The Routledge Handbook of Urban Ecology. Routledge. 17-25.
8. Eligh. B. 2016. "Urban cold islands" driving plant evolution in cities: New research from UTM. University of Toronto Mississauga.
9. Fallmann. J; Emeis S; Wagner. S. 2016. Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario. Springer Nature. 7-11.
10. Fisher. B; Joffre. S; Kukkonen. J; Piringen. M; Rotach. M; Schatzmann. M. 2005. Meteorology Applied to Urban Air Pollution Problems Final Report COST Action 715. Demetra Ltd Publishers, 23
11. Freemann. R; Yearworthb. M. 2017. Climate change and cities: problem structuring methods and critical perspectives on low-carbon districts. Energy Research & Social Science, Vol. 25, 48–64.
12. Gartland. L. 2008. Heat Island Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas. Earthscan.

13. Halenka. T; Huszar. P. 2016. Regional Climate Modelling Considering the Effect of Urbanization on Climate Change in Central Europe. Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario. Springer Nature. 21-34.
14. Hallik. J. 2008. Ekstensiivse murukatuse jahutusvõime Eesti kliimas, Magistritöö keskkonnatehnoloogia erialal, Tartu Ülikooli Loodus- ja tehnoloogiateaduskond Ökoloogia ja Maateaduste instituut.
15. Hjort. J;Suomi. J; Käyhkö. J. 2016. Extreme urban–rural temperatures in the coastal city of Turku, Finland: Quantification and visualization based on a generalized additive model. Science of the Total Environment. Vol 569–570, 507–517
16. Howard. L. 1833. The Climate of London: Deduced from Meterological Observations Made in the Metropolis and Various places Around it. London, Harvey and Darton.
17. Karing. P. 2013. The regionalisation of microclimate data. Baltic Horizons, Vol 19, 57–67.
18. KATI. 2015. Kliimamuutuste mõjude hindamine ja kohanemismeetmete väljatöötamine planeeringute, maakasutuse, inimtervise ja päästevõimekuse teemal. Allikas: Keskkonnaministeerium: https://www.envir.ee/sites/default/files/kati_lopparuanne.pdf - 22.02.17
19. Käär. M. 2015. Tallinna soojasaare seos talviste ilmastikuteguritega. Tallinna Ülikool. Matemaatika- ja Loodusteaduste Instituut. Loodusteaduste osakond. Bakalaurusetöö.
20. Köhler. M; Poll. P H. 2010. Long-term performance of selected old Berlin greenroofs in comparison to younger extensive greenroofs in Berlin, Ecological Engineering, Vol 36, 722–729.
21. Levermore. GJ; Parkinson. JB; Laycock. PJ; Lindley. S. 2015. The Urban Heat Island in Manchester 1996–2011. Building Services Engineering Research and Technology, Vol. 36, 343–356.
22. Li. H; Harvey. J; Kendall. A. 2013. Field measurement of albedo for different land cover materials and effects on thermal performance. Building and Environment. Vol 59, 536-546
23. Martin. P; Baudouin. Y; Gachon. P. 2015. An alternative method to characterize the surface urban heat island. Int J Biometeorol. Vol 59, 849–861.
24. Masoudi. N; Zaccourb. G. 2017. Adapting to climate change: Is cooperation good for the environment?. Economics Letters. Vol 153, 1–5.

25. Matzarakis. A; Martinelli. L; C. Ketterer. 2016. Relevance of Thermal Indices for the Assessment of the Urban Heat Island. Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario. Springer Nature. 93-107.
26. McIntosh. S. E; Opacic. M; Freer. L; Grissom. C. K; Auerbach; Rodway. G. W.; Cochran. A; Giesbrecht. G. G; McDevitt. M; Imray. C. H; Johnson. E. L; Dow. J; Hackett. P. H. 2014. Wilderness Medical Society Practice Guidelines for the Prevention and Treatment of Frostbite: 2014 Update. Wilderness & Environmental Medicine. Vol 25, 43–54
27. McIntyre. N. E. 2011. Urban ecology Definitions and goals. The Routledge Handbook of Urban Ecology. Routledge. 120-131.
28. Oke. T. R. 2011. Urban heat islands. The Routledge Handbook of Urban Ecology. Routledge. 120-131.
29. Prilipko. G. I. 1982. Klimat Tallina. Leningrad, Gidrimeteoizdat.
30. Prilipko. G. I. 1986. Klimat Pjarnu. Leningrad, Gidrimeteoizdat.
31. Sagris. V; Sepp. M; Gauk. M. 2015. Kuumalained ja soojusaared – Tallinna näide. Kliimamuutustega kohanemine Eestis –valmis vääramatuks jõuks?. Toimetaja: Roose. A. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 112 (2015) 68–78.
32. Santamouris. M. 2015. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy, Vol 103, 682–703.
33. Sepp. M; Sagris. V; Tamm. T. 2015. Eesti asub kliimamuutuste tulipunktis. Eesti Loodus. Vol 8, 8-13
34. Seppanen. O; Fisk. W. J.; Faulkner. D 2004. Control of Temperature for Health and Productivity in Offices. Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory
35. Servinski. M; Valgma. Ü; Hännilane. B; Otsing. M-L. 2013. Rahvastiku paiknemine ja rahvaarv. Allikas: Statistikaamet: www.stat.ee/dokumendid/71341 27.02.17
36. Suomia. J; Kayhk. J. 2012. The impact of environmental factors on urban temperature variability in the coastal city of Turku, SW Finland. International Journal of Climatology. Vol 32, 451–463.
37. Zhang. N; Chen. Y. 2013. A Case Study of the Upwind Urbanization Influence on the Urban Heat Island Effects along the Suzhou–Wuxi Corridor. American Meteorological Society, 333-345

38. Tarand. A. 1986. Õhutemperatuuri ja sademete territoriaalne jaotus Tallinnas. Preprint TBA-3. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Keemia-, Geoloogia- ja Bioloogiateaduste Osakond. Tallinn.
39. Tarand. A; Jaagus. J; Kallis. A. 2013. Eesti kliima minevikus ja tänapäeval. Varasemad Ilmavaatlused. Tartu Ülikooli Kirjastus. Tartu. 363-386
40. Teemusk. A; Mander. Ü. 2010. Temperature regime of planted roofs compared with conventional roofing systems, Ecological Engineering, Vol 36, 91–95.
41. Tomingas. O; Käär. M. 2016. Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat 41. Köide. Toimetaja: Arvo Järvet. Tallinna soojasaare seos talviste ilmastikuteguritega. Vol 41, 64-80.
42. Van der Hoeven. F; Wandl. A. 2015. Amsterwarm: Mapping the landuse, health and energy-efficiency implications of the Amsterdam urban heat island. Building Services Engineering Research and Technology, Vol 36(1), 67–88.
43. World Urbanization Prospects (WUP). 2014. Allikas United Nations <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.Pdf> 27.02.17
44. www.astronoomia.ee 19.04.17
45. www.ilmateenistus.ee 21.05.17

Summary

How do heat and cold waves affect the air temperatures of the city of Tartu between 2003-2016?

Rauno Aljas

Air temperature affects our everyday life, the temperature of air can make us feel either comfortable or uncomfortable. Extreme air temperatures can affect human health and in some cases cause death especially among elderly and people with poor health. The aim of the paper is to find out the locations of permanent air temperature measuring stations in the city of Tartu and the area nearby it. From the permanent air temperature measuring stations data I will find how heat and cold waves affect air temperatures in the city of Tartu and the nearby areas.

For data analysis purposes cold days were defined as air temperatures equal or under -15°C , this is due to human tolerance to cold temperature (McIntosh jt. 2014) and hot days would be temperatures equal or over $+25^{\circ}\text{C}$, this level is due to increasing mortality in elderly people and people with bad health (Åström jt. 2013). Analyses and charts were done using MS Excel, where I found the average air temperatures over all the stations. From that data average heat and cold day charts were created that would allow to compare results with other case studies. Overall data was used from 10 different locations. Data that was used was between these dates: 01.09.2003-16.11.2016 from Tõravere, Ülenurme and “füüsikahoone” locations; 11.02.2009-16.11.2016 Melliste, Kärevere, Tatra and Sõpruse bridge locations; 01.01.2011-16.11.2016 from Kvissentali location and 12.06.2008-16.11.2016 from “seirejaama” location.

From the heatwave analysis it can be said that the city of Tartu heats up more than the rural area surrounding it. The primary results from the case studies were that in the mornings and evenings the city area measuring station points air temperature measures were higher than rural area points. In the charts you can see, that in the morning and evening times the city area points stay above the average line and rural area points below average line. Sõpruse bridge location has strong influences from an urban area heat island as in all the charts it has

a peak in the middle of the day and has a lot higher air temperature compared to other stations. Finally the cooling of the city area air temperatures is much more slower than rural areas. This all is confirmed by the 331 heat day case average chart that has all the same characteristics as case studies, but draws the same results out much more clearer.

The results from the cold wave influence on the city of Tartu air temperatures are quite similar to heat wave ones. Main results are that the city areas air temperatures are higher through out all of the day compared to the rural area air temperatures. In the cold wave air temperature charts you can see that rural area points react to air temperature changes more drastically thus making the steps through every hour more sudden. The city are tends to have more stable changes in air temperature. The minimum air temperature level between city and rural area show that city area does not drop as low as rural. This all is confirmed by the 220 cold day case average chart that has all the same characteristics as case studies, but draws the results out much more clearer. The average chart does not have so drastic air temperature changes as the case studies have.

In conclusion it can be said that there are many air temperature measuring points in the city of Tartu and nearby it to analyse it on meso scale and even local scale. On the other hand four locations in the city is not enough to describe the microclimate of the city of Tartu also the data is with different quality and timely stamps. The analysis of the data showed that in the city centre traffic junction there is a clear urban heat island, where air temperatures are somewhat higher in comparison to the rural area.

Tänuavaldused

Suurimad tänud minu töö juhendajale Mait Sepale andes töö koostamise käigus väga häid sisulisi kommentaare. Lisaks tänan kõiki asutusi ja isikuid, kes jagasid oma andmeid, et saaksin lõputööd koostada ning oma perekonda ja lähedasi, kes toetasid mind nii nõu kui ka jõuga sellel suurel vaimsel pingutusel.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Rauno Aljas,
(autori nimi)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Kuidas kajastuvad kuuma- ja külmalained Tartu linna õhutemperatuurides aastatel: 2003-2016?,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Mait Sepp,

(juhendaja nimi)

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **29.05.2017.**